



**TUGAS AKHIR - TL 091584**

**PERILAKU KOROSI BAJA AISI 1021 DAN AISI 304  
DALAM BERBAGAI MEDIA ASAM**

**NUR AINI**

**NRP. 2712 100 098**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA.**

**Budi Agung Kurniawan ST, M.Sc.**

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016**



**FINAL PROJECT - TL 091584**

**CORROSION BEHAVIOR OF AISI 1021 AND AISI 304  
IN VARIOUS ACIDIC MEDIA**

**NUR AINI**

**NRP. 2712 100 098**

**LECTURER**

**Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA.**

**Budi Agung Kurniawan ST, M.Sc.**

**MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2016**

# **PERILAKU KOROSI BAJA AISI 1021 DAN AISI 304 DI BERBAGAI LINGKUNGAN ASAM**

## **TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Material dan Metalurgi  
pada  
Bidang Studi Korosi dan Kegagalan Material  
Jurusan Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknik Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**NUR AINI**

NRP. 2712 100 098

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA ..... (Pembimbing 1)  
Budi Agung Kurniawan, ST, M.Sc ..... (Pembimbing 2)



## PERILAKU KOROSI BAJA AISI 1021 DAN AISI 304 DALAM BERBAGAI MEDIA ASAM

**Nama** : Nur Aini  
**NRP** : 2712100098  
**Jurusan** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Pembimbing** : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA  
Budi Agung Kurniawan, ST, M.Sc

### Abstrak

Baja karbon dan baja tahan karat merupakan material yang banyak digunakan di Industri, tak terkecuali pada Industri kimia yang banyak menggunakan asam sebagai bahan baku. Namun baja karbon memiliki kelemahan mudah mengalami korosi, sedangkan baja tahan karat dikenal dengan sifat khususnya yaitu tahan terhadap korosi, namun pada beberapa kasus ditemukan adanya korosi sumuran pada baja tahan karat. Oleh karena itu dilakukan penelitian ini untuk menganalisa perilaku korosi baja AISI 1021 dan AISI 304 dalam berbagai media asam. Dalam penelitian ini lingkungan asam yang digunakan adalah HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. dengan variasi konsentrasi masing-masing larutan yaitu 0,1M , 0,5M, dan 1M. Untuk menganalisa bagaimana perilaku korosi baja AISI 1021 dan AISI 304 maka dilakukan serangkaian pengujian. Uji spektrometer, uji *weight loss*, uji polarisasi linear, uji makro visual, dan uji *X-Ray Diffraction*. Dari hasil uji *weight loss* diperoleh laju korosi tertinggi pada baja AISI 1021 yaitu pada media HNO<sub>3</sub> dengan laju korosi sebesar 8614,35 mpy, sedangkan untuk baja AISI 304 laju korosi tertinggi pada media HCl yaitu sebesar 125,85 mpy. Korosi yang terjadi pada baja AISI 1021 merupakan korosi seragam atau merata, sedangkan pada baja AISI 304 terjadi korosi sumuran pada media HCl.

**Kata Kunci:** *baja karbon rendah, stainless steel, asam klorida, asam sulfat, asam nitrat, asam fosfat, korosi seragam, korosi sumuran*

## ***CORROSION BEHAVIOR OF AISI 1021 AND AISI 304 IN VARIOUS ACIDIC MEDIA***

**Name** : Nur Aini  
**NRP** : 27121000098  
**Department** : Materials and Metallurgical Engineering  
**Lecturer** : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA  
Budi Agung Kurniawan ST, M.Sc

### ***Abstract***

*Carbon steel and stainless steel is a material that is widely used in the industry, including in the chemical industry that uses a lot of acid as a raw material. But carbon steel has a weakness not resistant to corrosion, while the stainless steel known resistant to corrosion, in some case was found pitting corrosion in Stainless Steel. Therefore this research is to analyze how the corrosion behavior of AISI 1021 steel and AISI 304 in various acidic media. In this study the environment of acid used is HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub> and H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> with various concentration of each solution is 0.1M, 0.5M and 1M. To analyze how the corrosion behavior of AISI 1021 steel and AISI 304 then performed a series of tests. Spectrometer test, weight loss test, linear polarization test, visual macro test, and X-Ray Diffraction test. The result of weight loss test obtained the highest corrosion rate on AISI 1021 is in HNO<sub>3</sub> media with corrosion rate 8614,35 mpy, while for AISI 304 the highest corrosion rate is in HCl media with corrosion rate 125,85 mpy. Corrosion occurs on AISI 1021 steel is corrosion uniform, whereas in AISI 304 steel pitting corrosion occurs.*

**Keywords:** *low carbon steel, stainless steel, hydrochloric acid, sulphuric acid, nitric acid, phosphoric acid, uniform corrosion, pitting corrosion*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul **PERILAKU KOROSI BAJA AISI 1021 DAN AISI 304 DALAM BERBAGAI MEDIA ASAM**. Laporan tugas akhir ini dibuat untuk melengkapi Mata Kuliah Tugas Akhir yang menjadi salah satu syarat kelulusan mahasiswa di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, laporan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan. Berikut ucapan terimakasih penulis untuk:

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Ayah dan Ibu, Bapak Abdul Rakhman dan Ibu Masriyah yang telah memberikan banyak doa, dukungan, semangat, cinta kasih motivasi dan inspirasi, dan bantuan selama mengerjakan tugas akhir.
3. Kakak dan Adek, Mas Kholis dan Adek Ria yang telah memberikan banyak bantuan, dukungan, dan doa sehingga laporan tugas akhir ini terselesaikan dengan baik.
4. Prof. Dr. Ir. Sulistijono dan Bapak Budi Agung Kurniawan ST, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir penulis.
5. Bapak Fakhreza Abdul ST, M.Sc dan Ibu Vania Mitha Pratiwi ST, MT selaku dosen penguji yang telah memberikan saran dan arahan.
6. Seluruh dosen Teknik Material dan Metalurgi yang telah membimbing penulis hingga terciptanya laporan ini.

7. Achmad Iqbal Fathoni yang telah menjadi sahabat dan partner yang selalu memberikan dukungan, motivasi, dan bantuan selama ini. Terima kasih karena selalu sabar menemani, dan menghibur disaat badmood maupun susah karena TA.
8. Teman-teman Johits “Ruth, Lita, Bella, Rosta, dan Gabby” yang selalu menyemangati dan mendoakan kelancaran dalam mengerjakan Tugas Akhir
9. Teman-teman Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan yang telah menemani penulis selama melaksanakan kegiatan praktikum, Terima kasih Ilmal, Acong, Gilang, Anis, Tata, Indah, Donny, Bang Uyi, Eka, Mas Yosh, dan lainnya.
10. Teman-teman seperjuangan MT 14 dan Bebski-bebski yang selalu menemani selama 3,5 tahun.
11. Teman-teman U-163 yang selalu memberikan semangat dan doanya. Terimakasih Gita, Cindy, Nina, Ubay, dan Elda.
12. Pak Tari, Pak Chanan, Mbak Is yang telah membantu dalam melakukan pengujian.
13. Serta seluruh pihak yang belum bisa dituliskan satu per satu oleh penulis. Terima kasih atas dukungan dan bantuan teman-teman sekalian.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, Januari 2016  
Penulis,

**Nur Aini**



## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul .....</b>	<b>i</b>
<b>Lembar Pengesahan .....</b>	<b>v</b>
<b>Abstrak.....</b>	<b>vii</b>
<b>Kata Pengantar.....</b>	<b>xi</b>
<b>Daftar Isi .....</b>	<b>xiii</b>
<b>Daftar Gambar .....</b>	<b>xv</b>
<b>Daftar Tabel.....</b>	<b>xix</b>
<b>Bab I Pendahuluan</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.4. Tujuan .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	3
<b>Bab II Tinjauan Pustaka</b>	
2.1. Baja .....	5
2.1.1 Baja Karbon .....	5
2.1.2 Baja Tahan Karat .....	8
2.2. Asam .....	16
2.2.1 Asam Klorida .....	17
2.2.2 Asam Sulfat .....	19
2.2.3 Asam Nitrat .....	22
2.2.4 Asam Fosfat .....	26
2.3. Korosi .....	27
2.3.1 Faktor Yang Mempengaruhi Korosi .....	29
2.3.2 Bentuk-Bentuk Korosi .....	33
2.3.3 Laju Korosi .....	42
2.3.4 Pasivasi .....	43
2.4. Pengujian Weight Loss.....	45
2.5. Pengujian Tafel Polarisasi.....	47
2.6. Penelitian Sebelumnya .....	49
<b>Bab III Metode Penelitian</b>	
3.1. Diagram Alir Penelitian .....	55
3.2. Alat-Alat Penelitian .....	56
3.3. Bahan Penelitian .....	56



3.4. Prosedur Penelitian.....	58
3.4.1. Preparasi Spesimen .....	58
3.4.2. Preparasi Larutan Elektrolit .....	58
3.4.3. Preparasi Pengujian.....	60
3.5 Rancangan Penelitian .....	68

## **Bab IV Hasil dan Pembahasan**

4.1. Hasil .....	69
4.1.1. Hasil Pengujian Spektrometer.....	69
4.1.2. Hasil Weight Loss .....	71
4.1.3. Hasil Pengujian Polarisasi Linear .....	81
4.1.4. Hasil Pengujian Makro Visual .....	86
4.1.5. Hasil Pengujian XRD.....	92
4.1.6 Hasil Pengujian EDX.....	94
4.2. Pembahasan.....	95

## **Bab V Kesimpulan dan Saran**

5.1. Kesimpulan.....	103
5.2. Saran.....	104

## **Daftar Pustaka**

## **Lampiran**

## **Biografi Penulis**

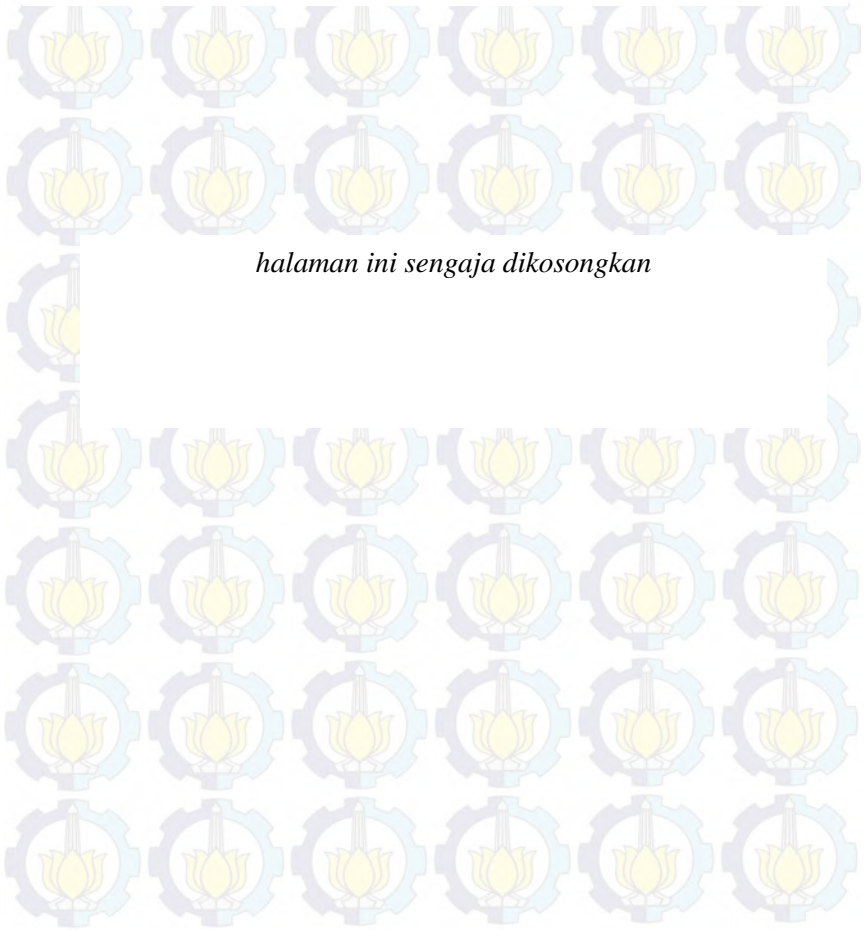
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Kesetimbangan Fe-Fe <sub>3</sub> C .....	7
Gambar 2.2	Mikrostruktur Baja Tahan Karat Ferritik.....	9
Gambar 2.3	Kelompok Austenitik Stainless Steel .....	11
Gambar 2.4	Mikrostruktur Baja Tahan Karat Martensitik .....	12
Gambar 2.5	Mikrostruktur Baja Tahan Karat Duplex.....	14
Gambar 2.6	Korosi Baja dalam Asam Sulfat sebagai Fungsi Konsentrasi dan Temperatur.....	22
Gambar 2.7	Sel Korosi Sederhana .....	28
Gambar 2.8	Skema Pertumbuhan pit Aktif pada Logam dalam Larutan Klorida.....	35
Gambar 2.9	Skema Proses yang Terjadi pada Pertumbuhan Pit yang Aktif.....	37
Gambar 2.10	Mekanisme Terjadinya <i>Pitting Corrosion</i> pada <i>Stainless Steel</i> .....	37
Gambar 2.11	Bentuk Korosi Sumuran .....	38
Gambar 2.12	Korosi Celah.....	39
Gambar 2.13	Korosi Seragam.....	39
Gambar 2.14	<i>Stress Corrosion Cracking</i> .....	40
Gambar 2.15	Proses Terbentuknya Lapisan Pasif.....	44
Gambar 2.16	Proses Rusaknya Lapisan Pasif.....	45
Gambar 2.17	Skema Kurva Polarisasi yang Menunjukkan Ekstrapolarisasi Tafel.....	48
Gambar 2.18	Prinsip Kerja Potensiostat.....	48
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian .....	55
Gambar 3.2	Spesimen Uji .....	57
Gambar 3.3	Larutan Elektrolit .....	57
Gambar 3.4	Pengujian Weight Loss .....	62
Gambar 3.5	Alat Pengujian Polarisasi Linear .....	64
Gambar 3.6	<i>Stereo Microscope</i> Carl Zeiss Stemi DV4 .....	65
Gambar 3.7	Mesin Uji <i>X-Ray Diffraction</i> PANalytical .....	66
Gambar 4.1	Laju Korosi AISI 1021 dalam Media HCL .....	73
Gambar 4.2	Laju Korosi AISI 1021 pada larutan H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	74
Gambar 4.3	Laju Korosi AISI 1021 pada HNO <sub>3</sub> .....	74

Gambar 4.4	Laju Korosi AISI 1021 pada $H_3PO_4$ .....	75
Gambar 4.5	Pengaruh Konsentrasi Larutan Elektrolit terhadap Laju Korosi Baja AISI 1021 dalam berbagai Media Asam .....	76
Gambar 4.6	Laju Korosi AISI 304 pada $HCl$ .....	78
Gambar 4.7	Laju Korosi AISI 304 pada $H_2SO_4$ .....	79
Gambar 4.8	Laju Korosi AISI 304 pada $HNO_3$ .....	79
Gambar 4.9	Laju Korosi AISI 304 pada $H_3PO_4$ .....	80
Gambar 4.10	Pengaruh Konsentrasi Larutan Elektrolit terhadap Laju Korosi Baja AISI 304 dalam berbagai Media Asam.....	80
Gambar 4.11	Kurva Polarisation Linear E vs Log i Baja AISI 1021 pada Berbagai Media Asam.....	83
Gambar 4.12	Kurva Polarisation Linear E vs Log i Baja AISI 304 pada Berbagai Media Asam.....	86
Gambar 4.13	Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 1021 dalam $HCl$ pada Penampang atas dan penampang samping dengan Perbesaran 32x.....	87
Gambar 4.14	Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 1021 dalam $H_2SO_4$ pada Penampang atas dan penampang samping dengan Perbesaran 32x .....	88
Gambar 4.15	Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 1021 dalam $HNO_3$ pada Penampang atas dan penampang samping dengan Perbesaran 32x .....	88
Gambar 4.16	Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 1021 dalam $H_3PO_4$ pada Penampang atas dan penampang samping dengan Perbesaran 32x .....	89
Gambar 4.17	Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 304 dalam $HCl$ pada Penampang atas dan penampang samping dengan Perbesaran 32x .....	90



Gambar 4.18 Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 304 dalam $\text{H}_2\text{SO}_4$ pada Penampang atas dan penampang samping dengan Perbesaran 32x .....	90
Gambar 4.19 Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 304 dalam $\text{HNO}_3$ pada Penampang atas dan penampang samping dengan Perbesaran 32x .....	91
Gambar 4.20 Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 304 dalam $\text{H}_3\text{PO}_4$ pada Penampang atas dan penampang samping dengan Perbesaran 32x .....	92
Gambar 4.21 Grafik Hasil Pengujian X-Ray Diffraction pada Baja AISI 1021 dalam Berbagai Media Asam .....	93
Gambar 4.22 Grafik hasil pengujian EDX baja AISI 1021 dalam media $\text{HNO}_3$ .....	94



*halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Baja Karbon .....	6
Tabel 2.2	Komposisi Beberapa Baja Tahan Karat Austenitik..	10
Tabel 2.3	Komposisi Kimia Nominal dari Baja Tahan Karat Presipitasi Hardening .....	13
Tabel 2.4	Sifat Mekanik AISI 304 .....	15
Tabel 2.5	Sifat Fisik Asam Klorida.....	18
Tabel 2.6	Derajat Laju Korosi .....	43
Tabel 2.7	Konstanta Laju Korosi.....	46
Tabel 3.1	Komposisi Kimia AISI 304.....	56
Tabel 3.2	Komposisi Kimia AISI 1021 .....	57
Tabel 3.3	Tabel Rancangan Penelitian .....	67
Tabel 4.1	Komposisi Material Hasil Pengujian Optical Emission Spectrometer (OES).....	69
Tabel 4.2	Laju Korosi AISI 1021 pada Media Asam .....	71
Tabel 4.3	Laju Korosi AISI 304 pada Media Asam .....	77
Tabel 4.4	Hasil Analisa Tafel AISI 1021 di Media Asam.....	81
Tabel 4.5	Hasil Analisa Tafel AISI 304 di Media Asam.....	84
Tabel 4.6	Komposisi Unsur pada Permukaan Baja AISI 1021 dalam Media $\text{HNO}_3$ .....	94
Tabel 4.7	Ketahanan Korosi AISI 304 .....	96



*halaman ini sengaja dikosongkan*



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Korosi adalah penurunan sifat suatu logam akibat reaksi kimia antara paduan logam atau logam dengan lingkungannya (Jones, 1991). Adapun faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya korosi yaitu temperatur, pH, ion dan gas terlarut.

Baja karbon dan baja tahan karat merupakan material yang banyak digunakan di dunia industri. Hal ini disebabkan karena baja karbon dan baja tahan karat mudah didapatkan serta memiliki harga yang relatif murah. Baja karbon merupakan jenis baja yang sering dipakai untuk material keteknikan. Walaupun terdapat kekurangan dalam ketahanan korosinya, sebagian besar masyarakat di dunia masih tetap menggunakan baja karbon contohnya untuk aplikasi nuklir, proses kimia, industri perminyakan, pipa saluran, konstruksi pertambangan dan peralatan logam. Baja nirkarat austenitik memiliki daya tahan korosi lebih baik dibandingkan baja karbon di beberapa lingkungan korosif seperti air laut. Sifat daya tahan korosi ini disebabkan lapisan pasif pelindung kromium oksida ( $\text{CrO}_3$ ) yang berkarakter kuat dan tidak terlihat secara kasat mata. Sifat lain dari bahan ini yaitu, ketangguhan cukup tinggi, dan toleran terhadap temperatur tinggi. Dengan memiliki karakter tersebut baja ini banyak dipergunakan pada struktur konstruksi di lingkungan korosif seperti, di pengeboran minyak lepas pantai, di perkapalan, penguat beton infrastruktur tepi pantai, tangki penyimpanan asam kuat, dan lain - lain. Namun, baja karbon rendah maupun baja tahan karat dapat terkorosi apabila berada di lingkungan yang sangat korosif.

Lingkungan asam merupakan lingkungan yang banyak dijumpai pada dunia industri. Selain sebagai bahan kimia yang sangat aktif, asam merupakan bahan kimia yang banyak digunakan sebagai bahan baku dalam industri, tidak terkecuali untuk asam klorida, asam sulfat, asam nitrat, dan asam fosfat. Asam sulfat banyak dipakai dalam pembuatan pupuk kimia,



analisa laboratorium, pewarnaan tekstil dan masih banyak lagi. Asam klorida digunakan sebagai bahan baku pembuatan senyawa asam organik vinil klorida untuk pipa PVC, sebagai pelarut logam tanah jarang, dan lain-lain. Asam nitrat banyak digunakan pada industri pembuatan bahan peledak seperti nitrogliserin trinitrotoluena (TNT) dan siklotrimetilenatrintramin (RDX), selain sebagai bahan peledak asam nitrat juga digunakan sebagai *reagen* di dalam laboratorium. Sedangkan untuk asam fosfat banyak digunakan pada industri pupuk, industri gelas, industri tekstil, dan lain-lain. Namun, keempat bahan kimia ini termasuk dalam golongan asam kuat yang bersifat sangat korosif terhadap baja.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mempelajari perilaku korosi baja AISI 1021 dan baja AISI 304 dalam media HCl,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ , dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  sehingga hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu pertimbangan untuk mengetahui umur pakai material baja karbon maupun baja AISI 304 dalam lingkungan asam yang merupakan lingkungan yang sangat korosif.

## 1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi larutan elektrolit terhadap laju korosi baja AISI 1021 dan AISI 304
2. Bagaimana perilaku korosi baja AISI 1021 dan AISI 304 dalam berbagai media asam

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisa permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan, yaitu:

1. Material dianggap homogen
2. Larutan elektrolit yang digunakan dianggap homogen



3. Nilai pH, temperatur, volume, dan tekanan dianggap konstan selama proses pengujian.
4. Kondisi awal permukaan material dianggap homogen dan bebas cacat.
5. Pengaruh temperatur yang dihasilkan dari proses pemotongan spesimen maupun proses grinding diabaikan.
6. Tidak adanya perlakuan panas yang diberikan pada material tersebut.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Sesuai dengan permasalahan yang telah disebutkan, maka tujuan penelitian ini antara lain:

1. Menganalisa pengaruh konsentrasi larutan elektrolit terhadap laju korosi baja AISI 1021 dan AISI 304.
2. Menganalisa perilaku korosi pada baja AISI 1021 dan AISI 304 dalam berbagai media asam.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang perilaku korosi baja AISI 1021 dan AISI 304 dalam berbagai media asam apabila dilakukan pembangunan konstruksi yang menggunakan baja khususnya baja karbon dan stainless steel dapat digunakan sebagai salah satu pertimbangan untuk mengetahui umur pakai material tersebut.



*halaman ini sengaja dikosongkan*



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 BAJA**

Menurut komposisi kimianya baja dapat di bagi dua kelompok besar yaitu: Baja karbon dan baja paduan. Baja karbon bukan berarti baja yang sama sekali tidak mengandung unsur lain, selain besi dan karbon. Baja karbon mengandung sejumlah unsur lain tetapi masih dalam batas-batas tertentu yang tidak berpengaruh terhadap sifatnya. Unsur-unsur ini biasanya merupakan ikatan yang berasal dari proses pembuatan besi atau baja seperti mangan, Silicon, dan beberapa unsur pengotoran seperti belerang, oksigen, nitrogen, dan lain-lain yang biasanya ditekan sampai kadar yang sangat kecil.

##### **2.1.1 Baja Karbon**

Baja karbon adalah paduan antara Fe dan C dengan kadar C sampai 2,14%. Sifat-sifat mekanik baja karbon tergantung dari kadar C yang dikandungnya. Setiap baja termasuk baja karbon sebenarnya adalah paduan multi komponen yang disamping Fe selalu mengandung unsur-unsur lain seperti Mn, Si, S, P, N, H, yang dapat mempengaruhi sifat-sifatnya. Baja karbon dapat diklasifikasikan menjadi tiga bagian menurut kadar karbon yang dikandungnya, yaitu:

1. **Baja Karbon Rendah**

Baja karbon rendah mengandung kurang dari 0,3 % karbon. Kandungan karbonnya yang rendah dan mikrostrukturnya yang terdiri dari fasa ferit dan pearlit menjadikan baja karbon rendah bersifat lunak dan kekuatannya lemah namun keuletan dan ketangguhannya sangat baik. Baja karbon rendah kurang responsif terhadap perlakuan panas untuk mendapatkan mikrostruktur martensit maka dari itu untuk meningkatkan kekuatan dari baja karbon rendah dapat dilakukan dengan proses roll dingin maupun karburisasi. Baja karbon rendah mengandung 0,04 % C digunakan untuk plat-plat strip. Baja karbon rendah



mengandung 0,05 % C digunakan untuk badan kendaraan. Baja karbon rendah mengandung 0,05 – 0,25 % C digunakan untuk konstruksi jembatan dan bangunan. Baja karbon rendah mengandung 0,05 – 0,3 % digunakan untuk baut paku keling, karena kepalanya harus di bentuk.

### 2. Baja Karbon Menengah

Baja ini mengandung karbon antara 0,25% – 0,60 %. Didalam perdagangan biasanya dipakai sebagai alat-alat perkakas, baut, porosengkol, roda gigi, ragum, pegas dan lain-lain. Sifat dari baja ini yaitu lebih kuat dan keras dari pada baja karbon rendah, tidak mudah di bentuk dengan mesin, lebih sulit di lakukan untuk pengelasan, dapat dikeraskan (quenching) dengan baik.

### 3. Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi ialah baja yang mengandung karbon antara 0,6% – 1,4%. Baja ini biasanya digunakan untuk keperluan alat-alat konstruksi yang berhubungan dengan panas yang tinggi. Sifat dari baja karbon tinggi yaitu: kuat, sangat keras dan getas/rapuh, sulit dibentuk mesin, mengandung unsur sulfur (S) dan posfor (P), mengakibatkan kurangnya sifat liat, dapat dilakukan proses heat treatment dengan baik.

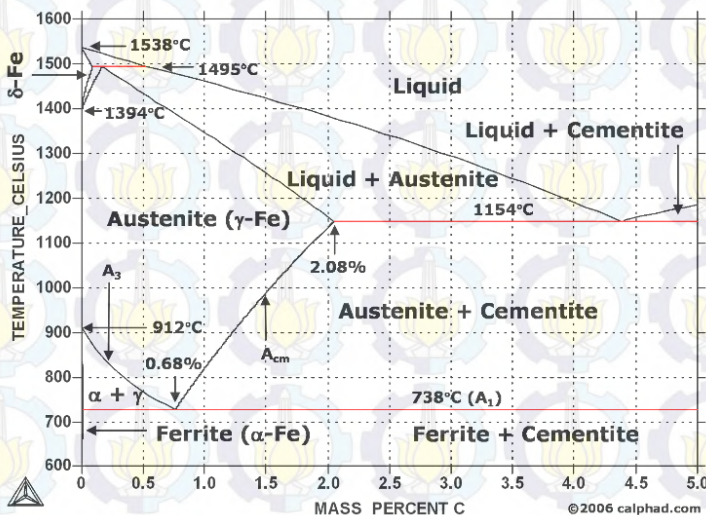
**Tabel 2.1** Klasifikasi Baja Karbon (Joko Wahyono, 2005)

No	Jenis Baja Karbon	Presentase Unsur Karbon
1.	Baja Karbon Rendah	$\leq 0,25 \%C$
2.	Baja Karbon Medium	0,25-0,55 %C
3.	Baja Karbon Tinggi	$\geq 0,55 \%C$



Selain berdasarkan kandungan karbonnya, juga dikelompokkan berdasarkan komposisi presentasi unsur pepadu karbon seperti yang terlihat pada diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C. Gambar 2.1 merupakan diagram kesetimbangan Fe-Fe<sub>3</sub>C yang menunjukkan bahwa baja hipoeutektoid memiliki kadar karbon kurang dari 0,8% C, baja eutektoid 0,8% C, sedangkan baja hipereutektoid memiliki kandungan karbon lebih dari 0,8% C.

Baja dengan kadar karbon sangat rendah memiliki kekuatan yang relatif rendah tetapi memiliki keuletan yang relatif tinggi. Baja jenis ini umumnya digunakan untuk proses pembentukan lembaran. Dengan meningkatnya kadar karbon maka baja karbon menjadi semakin kuat tetapi berkurang keuletannya. Baja karbon rendah atau sangat rendah banyak digunakan untuk proses pembentukan lembaran, misalnya untuk badan dan rangka kendaraan serta komponen-komponen otomotif lainnya. Baja jenis ini dibuat dan diaplikasikan dengan mengeksplotasi sifat-sifat ferit. Ferit adalah salah satu fasa penting di dalam baja yang bersifat lunak dan ulet



Gambar 2.1 Diagram Kesetimbangan Fe-Fe<sub>3</sub>C





Baja karbon rendah dengan kandungan karbon yang rendah dan struktur mikronya yang terdiri dari fasa ferit dan perlit menjadikannya bersifat lunak dan kekuatannya lemah namun keuletan dan ketangguhannya sangat baik. Baja karbon rendah kurang responsif terhadap perlakuan panas untuk mendapatkan struktur mikro martensit maka dari itu untuk meningkatkan kekuatan baja karbon rendah dapat dilakukan dengan proses canai dingin maupun karburisasi.

Selain kadar karbon, sifat-sifat mekanik baja karbon rendah dengan fasa tunggal ferit ditentukan pula oleh dimensi atau ukuran butir-butir ferit. Secara umum diketahui bahwa baja dengan ukuran butir lebih kecil akan memiliki kekuatan yang tinggi pada temperatur kamar. Material dengan butir yang lebih halus maka akan lebih keras dan kuat dibandingkan material dengan butir kasar, karena butir halus memiliki area butir total yang lebih luas untuk menghalangi pergerakan dislokasi. Untuk sebagian besar material, kekuatan tariknya bervariasi dengan ukuran butir. Penguatan baja karbon rendah dapat dilakukan melalui proses termomekanika, proses perlakuan panas, dan pemberian paduan mikro.

### 2.1.2 Baja Tahan Karat

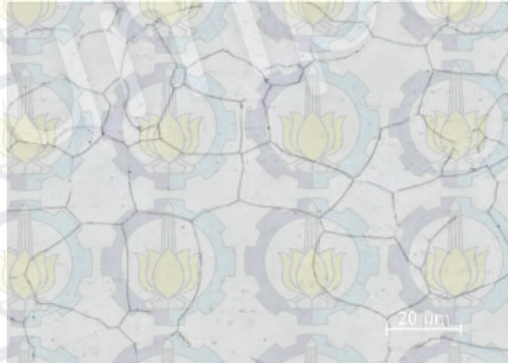
Baja Tahan karat (*stainless steel*) sebenarnya adalah baja paduan dengan kadar paduan tinggi (*high alloy steel*) dengan sifat istimewa yaitu tahan terhadap korosi dan temperatur tinggi. Sifat tahan korosinya diperoleh dari lapisan oksida (terutama *chrom*) yang sangat stabil yang melekat pada permukaan dan melindungi baja terhadap lingkungan yang korosif. Pada beberapa jenis baja tahan karat juga terjadi lapisan oksida nikel. Efek perlindungan oksida chrom ini tidak efektif pada baja paduan dengan kadar chrom rendah, efek ini mulai tampak nyata pada kadar chrom tidak kurang dari 10%. (suherman, 1999)

Berdasarkan strukturnya baja tahan karat dapat dibagi menjadi tiga kelompok, setiap kelompok baja tahan karat cocok



digunakan untuk aplikasi yang berbeda. Berikut merupakan 3 kelompok baja tahan karat yang utama yaitu :

### 1. Baja tahan karat ferritik



**Gambar 2.2** Mikrostruktur Baja Tahan Karat Ferritik (outokumpu,2013)

Baja tahan karat ferritik adalah baja chrom yang memiliki kadar chromium lebih tinggi (14-27%), dan kadar karbon lebih rendah. Dalam kelompok ini dikenal tipe 405, 430, dan 446. Baja tahan karat ini memiliki sifat-sifat sebagai berikut: tidak dapat dikeraskan dengan laku panas (*non hardenable*), namun dapat menjadi keras dengan *cold work* (*work hardens*), magnetik, dapat di *cold work* maupun *hot work*. Keuletan dan sifat tahan korosi yang paling tinggi akan dicapai saat kondisi annealed. Dalam kondisi ini kekuatannya kira-kira 50% lebih tinggi dari baja karbon, terhadap kelompok martensitik, kelompok ferritik lebih unggul dalam sifat tahan korosi dan *machinability*. Karena mudah dibentuk, banyak digunakan sebagai barang-barang yang dibuat dengan *deep-drawing* seperti alat industri kimia dan makanan dan benda arsitektural dan beberapa hiasan pada bagian mobil.



## 2. Baja tahan karat austenitik

Kelompok ini terdiri dari baja chrom-nickel (seri 3xx) dan baja chrom-nickel-mangan (seri 2xx). Jumlah kadar chrom dan nickel tidak kurang dari 23%. Berstruktur austenitik, non magnetik, *non hardenable*. Mudah dihot-work, tetapi agak sulit dicold-work karena dapat mengalami work-hardening cukup hebat. Dalam keadaan *cold work* baja ini menjadi sedikit magnetik. Cold working dapat memberikan sifat mekanik yang sangat bervariasi tergantung pada tingkat deformasi yang dialami.

**Tabel 2.2** Komposisi Beberapa Baja Tahan Karat Austenitik

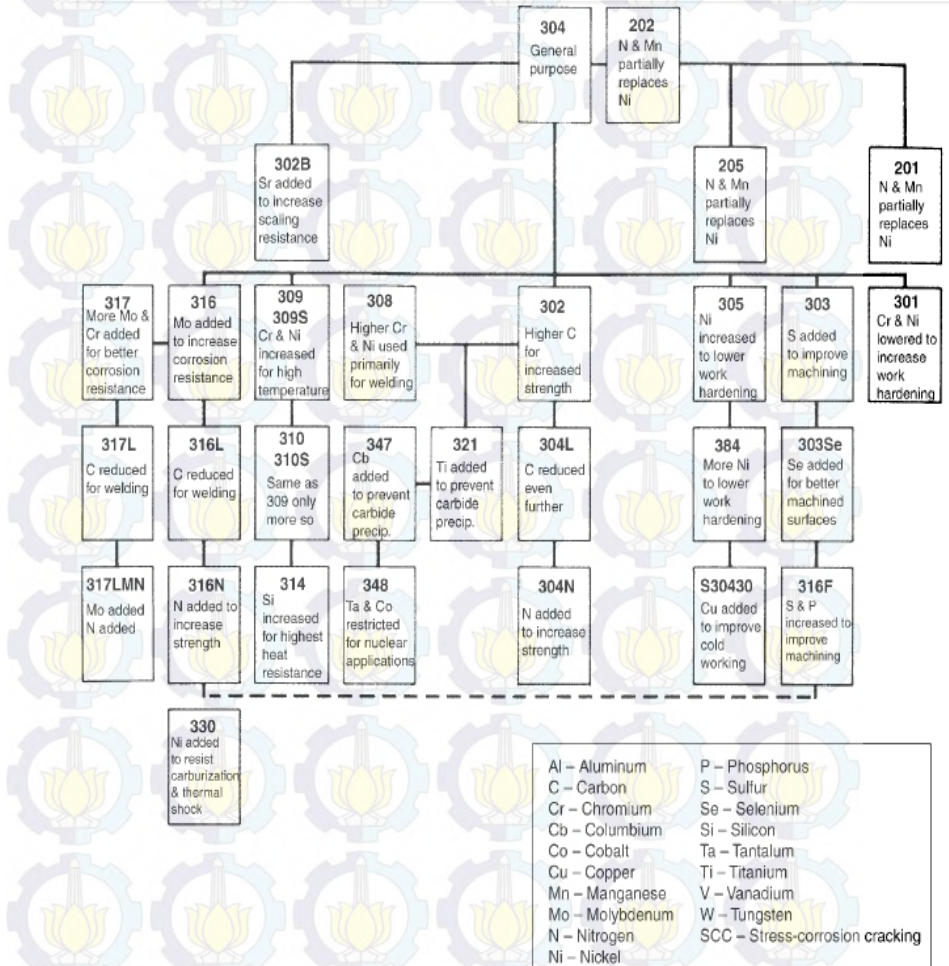
Alloy	Designation	C	N	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	Other
201	S20100	0.08	0.07	16.3	4.5	0.2	7.1	0.45	0.001S
201 drawing	S220100	0.08	0.07	16.9	5.4	0.02	7.1	0.5	0.001S
201LN	S20153	0.02	0.13	16.3	4.5	0.2	7.1	0.45	0.001S
301 tensile	S30100	0.08	0.4	16.6	6.8	0.2	1.0	0.45	0.001S
301 drawing	S30100	0.08	0.04	17.4	7.4	0.02	1.7	0.45	0.007S
303	S30300	...	...	...	...	...	...	...	...
304	S30400	0.05	0.05	18.3	8.1	0.3	1.8	0.45	0.001S
304 drawing	S30400	0.05	0.04	18.4	8.6	0.3	1.8	0.45	0.001S
304 extra drawing	S30400	0.06	0.04	18.3	9.1	0.3	1.8	0.45	0.001S
304L	S30403	0.02	0.09	18.3	8.1	0.3	1.8	0.45	0.003S
304	S30500	0.05	0.02	18.8	12.1	0.2	0.8	0.6	0.001S
321	S32100	0.05	0.01	17.7	9.1	0.03	1.0	0.45	0.001S
316L	S31603	0.02	0.0	16.4	10.5	2.1	1.8	0.5	0.010S

Kelompok baja ini mempunyai sifat *shock resistant* yang tinggi, dan juga sulit di machining, kecuali yang mengandung sulfur atau selenium. Sifat tahan korosinya paling baik diantara ketiga jenis baja tahan karat, juga kekuatan pada temperatur tinggi dan sifat tahan terhadap *scalling* sangat baik. Pada pengelasan baja ini





sering mengalami prepitasi karbida kromium (terjadinya presipitasi karbida krom menurunkan sifat tahan korosi dan dapat mendorong terjadinya korosi yang sangat berbahaya, yaitu korosi batas butir (suherman, 1999).

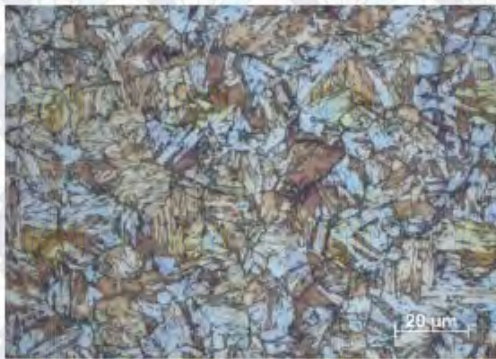


**Gambar 2.3** Kelompok Austenitik *Stainless Steel* (ASM, 2008)



### 3. Baja tahan karat martensitik

Pada dasarnya baja ini adalah baja chrom dengan 11,5-18% kromium. Baja ini sering digunakan untuk turbin blade dan benda tuangan tahan korosi. Yang termasuk dalam kelompok ini antara lain type 403, 410, 416, 420, 440A, 501, dan 502. Kelompok baja tahan karat ini bersifat magnetik, dapat dikeraskan, dapat di cold-work dengan mudah, terutama yang memiliki kadar karbon rendah, machinability cukup baik, ketangguhan baik, juga dapat dihot-work dan memperlihatkan sifat tahan korosi terhadap cuaca dan beberapa *chemical* yang cukup baik. Sifat tahan korosinya akan paling baik bila dalam kondisi dikeraskan, tetapi masih belum sebaik sifat tahan korosi dari kelompok ferritik dan austenitik.



**Gambar 2.4** Mikrostruktur Baja Tahan Karat Martensitik (outokumpu,2013)

Selain ketiga kelompok baja tahan karat tersebut, terdapat juga kelompok baja tahan karat duplex dan presipitasi hardening.

### 1. Baja tahan karat precipitasi hardening

Ini adalah baja tahan karat yang mengalami pengerasan presipitasi. Baja ini pada dasarnya adalah baja paduan chrom nickel dengan tambahan beberapa unsur lain. Baja ini keluar dari pabrik biasanya sudah dalam keadaan solution-annealed.



Kemudian setelah dibentuk dilakukan aging untuk menaikkan kekerasan dan kekuatannya.

**Tabel 2.3** Komposisi Kimia Nominal dari Baja Tahan Karat Presipitasi-Hardening

Grade	C %	Mn%	Si%	Cr%	Ni%	Mo%	Others %
17-4 PH	0,04	0,40	0,50	16,50	4,25	-	0,25 Cb 3,6 Cu
17-7 PH	0,07	0,70	0,40	17,00	7,00	-	1,15 Al
PH 15-7 Mo	0,07	0,70	0,40	15,00	7,00	2,25	1,15 Al
17-10 P	0,12	0,75	0,50	17,00	10,50	-	0,28 P

Paduan 17-4 PH dissolution annealed pada 1040°C, didinginkan di udara sehingga austenit bertransformasi menjadi martensit. Aging dilakukan dengan pemanasan pada temperatur 480-620°C, didinginkan di udara, untuk menimbulkan efek presipitasi. Dengan aging ini martensit akan mengalami tempering. Temperatur aging yang lebih rendah akan memberikan kekerasan dan kekuatan lebih tinggi tetapi keuletan lebih rendah. Baja ini hendaknya tidak digunakan pada kondisi solution-treated karena keuletannya rendah dan ketahanan terhadap stress corrosion cracking jelek.

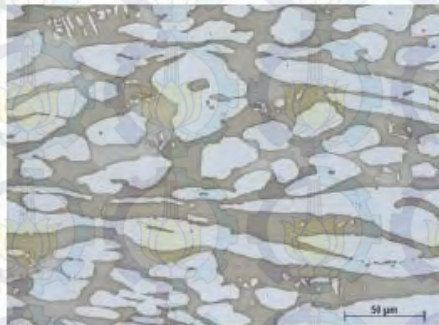
## 2. Baja tahan karat duplex

Kelompok duplex memiliki mikrostruktur ferritik dan austenitik, dengan kesetimbangan fasa 50% ferrit dan 50% austenit. Kelompok Duplex merupakan kombinasi banyak sifat baik dari baja tahan karat ferritik dan austenitik. Mikrostruktur duplex berkontribusi untuk memberikan sifat kekuatan tinggi dan ketahanan terhadap *Stress Corrosion Cracking* yang tinggi. Ciri-ciri baja tahan karat duplex adalah kandungan kromium yang tinggi (20,1-25,5%), namun memiliki kandungan nickel yang





rendah dibandingkan dengan kelompok austenitik (1,4-7%). Rendahnya kandungan nikel membuat baja tahan karat duplex memiliki harga yang lebih murah. Molybdenum (0,3-4%) dan nitrogen ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan korosi dan kesetimbangan mikrostruktur. Nitrogen juga meningkatkan kekuatan. Mangan juga ditambahkan pada beberapa tipe sebagai pengganti dari nikel, namun mangan juga meningkatkan kelarutan nitrogen dalam material.



**Gambar 2.5** Mikrostruktur Baja Tahan Karat Duplex (outokumpu,2013)

### **Baja Tahan Karat AISI 304**

AISI 304 adalah jenis baja tahan karat austenitik, unsur pembentuk utamanya besi, memiliki kadar karbon sangat rendah 0,015-0,025%, kromium berkisar 16,0-18,0% dan nikel 8,0-10,0%. Memiliki ketahanan korosi yang baik karena mengandung unsur kromium yang memiliki karakteristik khusus yaitu membentuk lapisan kromium oksida ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) jika bereaksi dengan oksigen, jika lapisan ini rusak maka secara spontan akan terbentuk lapisan baru jika kondisi lingkungan mengandung cukup oksigen. (Michael F. McGuire, 2008)

Memiliki sifat mekanik, mampu las, ketahanan korosi dan proses permesinan yang baik membuat golongan austenitik





terutama AISI 304 menjadi material baja tahan karat yang banyak digunakan dalam dunia industri. (Dumenico Surpi, 2011)

**Tabel 2.4** Sifat Mekanik AISI 304

Sifat Mekanik			
	Metric	English	
Kekerasan (Brinell)	123	123	Konversi dari uji kekerasan Rockwell B
Kekerasan (Knoop)	138	138	Konversi dari uji kekerasan Rockwell B
Kekerasan (Rockwell B)	70	70	
Kekerasan (Vickers)	129	129	Konversi dari uji kekerasan Rockwell B
Kekuatan Tarik (Ultimate)	<u>505 MPa</u>	73200 psi	
Kekuatan Tarik (Yield)	<u>215 MPa</u>	31200 psi	Pada 0.2% <i>offset</i>
Pertambahan panjang saat patah	<u>70 %</u>	70 %	dalam 50 mm
Modulus Elastis	193 - 200 Gpa	28000 - 29000 ksi	
Rasio Poisson	0.29	0.29	
Charpy Impact	<u>325 J</u>	240 ft-lb	
Modulus Geser	<u>86 GPa</u>	12500 ksi	

Baja tahan karat AISI 304 adalah jenis material yang banyak digunakan secara ekstensif dalam dunia industri seperti industri petrokimia, pembangkit listrik termal, boiler, bejana tekan, alat konstruksi dan transportasi dalam bidang teknik. Penggunaan yang luas dari baja tahan karat ini karena sifat mekanik dan fisik serta ketahanan korosi yang sangat baik (Michael F. McGuire, 2008:229).



## 2.2 Asam

Pengertian asam menurut **Brønsted-Lowry**: asam adalah pemberi proton kepada basa. Asam dan basa bersangkutan disebut sebagai pasangan asam-basa konjugat. Brønsted dan Lowry secara terpisah mengemukakan definisi ini, yang mencakup zat-zat yang tak larut dalam air (ulfin, Ita.2010).

Walaupun bukan merupakan teori yang paling luas cakupannya, definisi Brønsted-Lowry merupakan definisi yang paling umum digunakan. Dalam definisi ini, keasaman suatu senyawa ditentukan oleh kestabilan ion hidronium dan basa konjugat terlarutnya ketika senyawa tersebut telah memberi proton ke dalam larutan tempat asam itu berada. Stabilitas basa konjugat yang lebih tinggi menunjukkan keasaman senyawa bersangkutan yang lebih tinggi.

Sistem asam/basa berbeda dengan reaksi redoks; tak ada perubahan bilangan oksidasi dalam reaksi asam-basa. Dalam air, reaksi kesetimbangan berikut terjadi antara suatu asam (HA) dan air, yang berperan sebagai basa,



Tetapan asam adalah tetapan kesetimbangan untuk reaksi HA dengan air:

$$K_a = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

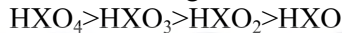
Asam kuat mempunyai nilai  $K_a$  yang besar (yaitu, kesetimbangan reaksi berada jauh di kanan, terdapat banyak  $\text{H}_3\text{O}^+$ ; hampir seluruh asam terurai). Misalnya, nilai  $K_a$  untuk asam klorida (HCl) adalah  $10^7$ . Asam kuat memiliki derajat ionisasi 1. Meskipun demikian, tingkat keasaman asam kuat berbeda-beda. Berikut adalah tingkat keasaman asam kuat dari yang paling kuat(paling asam):

1. Aqua Regia: campuran  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan  $\text{HNO}_3$
2.  $\text{HNO}_3$
3.  $\text{H}_2\text{SO}_4$
4. Asam halida(kecuali HF)





## 5. Asam oksidasi halogen



### 2.2.1 Asam Klorida

Larutan asam klorida atau yang biasa dikenal dengan larutan HCl dalam air, adalah cairan kimia yang sangat korosif dan berbau menyengat. HCl termasuk bahan kimia berbahaya atau B3. Dalam skala industri, HCl biasanya diproduksi dengan konsentrasi 38%. Ketika dikirim ke industri pengguna, HCl dikirim dengan konsentrasi antara 32~34%. Pembatasan konsentrasi HCl ini karena tekanan uapnya yang sangat tinggi, sehingga menyebabkan kesulitan ketika penyimpanan.

Hidrogen klorida (HCl) adalah asam monoprotik, yang berarti bahwa ia dapat berdisosiasi melepaskan satu  $\text{H}^+$  hanya sekali. Dalam larutan asam klorida,  $\text{H}^+$  ini bergabung dengan molekul air membentuk ion hidronium,  $\text{H}_3\text{O}^+$ :

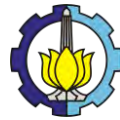


Ion lain yang terbentuk adalah ion klorida,  $\text{Cl}^-$ . Asam klorida oleh karenanya dapat digunakan untuk membuat garam *klorida*, seperti natrium klorida. Asam klorida adalah asam kuat karena ia berdisosiasi penuh dalam air.

Dari tujuh asam mineral kuat dalam kimia, asam klorida merupakan asam monoprotik yang paling sulit menjalani reaksi redoks. Ia juga merupakan asam kuat yang paling tidak berbahaya untuk ditangani dibandingkan dengan asam kuat lainnya. Walaupun asam, ia mengandung ion klorida yang tidak reaktif dan tidak beracun. Asam klorida dalam konsentrasi menengah cukup stabil untuk disimpan dan terus mempertahankan konsentrasinya.

Asam klorida sering digunakan dalam analisis kimia untuk "mencerna" sampel-sampel analisis. Asam klorida pekat melarutkan banyak jenis logam dan menghasilkan logam klorida dan gas hidrogen. Ia juga bereaksi dengan senyawa dasar semacam kalsium karbonat dan tembaga(II) oksida, menghasilkan klorida terlarut yang dapat dianalisa (Perry, 1984).





### 2.2.1.1 Sifat-Sifat Fisika

Ciri-ciri fisika asam klorida, seperti titik didih, titik leleh, massa jenis, dan pH tergantung pada konsentrasi atau molaritas HCl dalam larutan asam tersebut. Sifat-sifat ini berkisar dari larutan dengan konsentrasi HCl mendekati 0% sampai dengan asam klorida berasap 40% HCl.

**Tabel 2.5** Sifat Fisik Asam Klorida

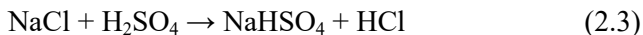
Konsentrasi (kg HCl/kg)	Massa jenis (kg/l)	Molaritas (mol/dm <sup>3</sup> )	pH	Viskositas (Mpa.s)	Kapasitas kalor jenis (kJ/(kg·K))	Tekanan uap (Pa)	Titik didih (°C)	Titik leleh (°C)
10%	1,048	2,87	-0,5	1,16	3,47	0,527	103	-18
20%	1,098	6,02	-0,8	1,37	2,99	27,3	108	-59
30%	1,149	9,45	-1,0	1,70	2,60	1.410	90	-52
32%	1,159	10,17	-1,0	1,80	2,55	3.130	84	-43
34%	1,169	10,90	-1,0	1,90	2,50	6.733	71	-36
36%	1,179	11,64	-1,1	1,99	2,46	14.100	61	-30
38%	1,189	12,39	-1,1	2,10	2,43	28.000	48	-26

Asam klorida sebagai campuran dua bahan antara HCl dan H<sub>2</sub>O mempunyai titik didih-konstan azeotrop pada 20,2% HCl dan 108,6 °C (227 °F). Asam klorida memiliki empat titik eutektik kristalisasi-konstan, berada di antara kristal HCl·H<sub>2</sub>O (68% HCl), HCl·2H<sub>2</sub>O (51% HCl), HCl·3H<sub>2</sub>O (41% HCl), HCl·6H<sub>2</sub>O (25% HCl), dan es (0% HCl). Terdapat pula titik eutektik metastabil pada 24,8% antara es dan kristalisasi dari HCl·3H<sub>2</sub>O.

### 2.2.1.2 Proses Pembentukan

Di Industri, asam klorida dibuat berdasarkan bahan baku garam dapur, asam sulfat pekat, dan batubara sebagai bahan bakar. Garam dapur atau natrium klorida (NaCl) dengan asam sulfat 100% dimasukkan dalam dapur dari besi tuang yang dilengkapi dengan pengaduk.

Pada suhu kamar terjadi reaksi:



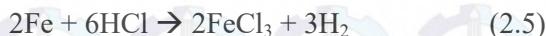
Pada suhu panas terjadi reaksi:



Garam natrium sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ditampung di bawah dapur dan gas hidrogen klorida di dinginkan dan direaksikan dengan air, maka terjadilah asam klorida cair.

### 2.2.1.3 Reaksi Kimia Asam Klorida dengan Besi

Reaksi kimia asam klorida dengan besi adalah sebagai berikut:



### 2.2.1.4 Penggunaan Asam Klorida

Asam klorida merupakan kimia yang penting dan luas penggunaannya. Penggunaan terbesar asam klorida yaitu sebagai penghilang karat atau kerak besi oksida dari besi atau baja, bahan baku pembuatan vinyl klorida, yaitu monomer untuk pembuatan plastik polyvinyl chloride atau PVC, bahan baku pembuatan besi (III) klorida ( $\text{FeCl}_3$ ) dan polyalumunium chloride (PAC), yaitu bahan kimia yang digunakan sebagai bahan baku koagulan dan flokulan. Koagulan dan flokulan digunakan pada pengolahan air. Asam klorida dimanfaatkan pula untuk mengatur pH (keasaman) air limbah cair industri, sebelum dibuang ke badan air penerima, selain itu asam klorida digunakan dalam proses regenerasi resin penukar kation (cation exchange resin).

### 2.2.2 Asam Sulfat

Asam Sulfat merupakan asam kuat yang sangat berbahaya bila terkena kulit manusia karena sifatnya bisa melepuhkan kulit tersebut.

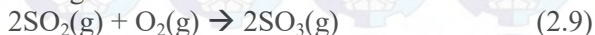
Asam sulfat dapat di bentuk dengan proses kontak. Reaksi yang terjadi dapat diringkas sebagai berikut :



- a. Belerang dibakar dengan udara membentuk belerang dioksida



- b. Belerang dioksida dioksidasi lebih lanjut menjadi belerang trioksida.



- c. Belerang trioksida dilarutkan dalam asam sulfat pekat membentuk asam pirosulfat.



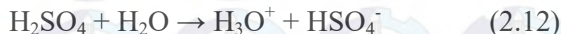
- d. Asam pirosulfat direaksikan dengan air membentuk asam sulfat pekat.



#### 2.2.2.1 Sifat-Sifat Kimia

1. Reaksi dengan air

Reaksi hidrasi asam sulfat sangat eksotermik. Selalu tambahkan asam ke dalam air daripada air ke dalam asam. Air memiliki massa jenis yang lebih rendah daripada asam sulfat dan cenderung mengapung di atasnya, sehingga apabila air ditambahkan ke dalam asam sulfat pekat, ia akan dapat mendidih dan bereaksi dengan keras. Reaksi yang terjadi adalah pembentukan ion hidronium:

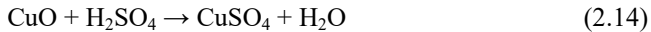


Karena hidrasi asam sulfat secara termodinamika difavoritkan, asam sulfat adalah zat pendehidrasi yang sangat baik dan digunakan untuk mengeringkan buah-buahan. Afinitas asam sulfat terhadap air cukuplah kuat sedemikiannya ia akan memisahkan atom hidrogen dan oksigen dari suatu senyawa.

2. Reaksi lainnya

Sebagai asam, asam sulfat bereaksi dengan kebanyakan basa, menghasilkan garam sulfat. Sebagai contoh, garam tembaga(II) sulfat dibuat dari reaksi antara tembaga(II) oksida dengan asam sulfat:

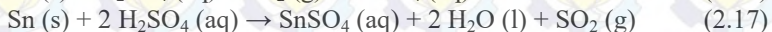




Asam sulfat juga dapat digunakan untuk mengasamkan garam dan menghasilkan asam yang lebih lemah. Reaksi antara natrium asetat dengan asam sulfat akan menghasilkan asam asetat,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , dan natrium bisulfat:



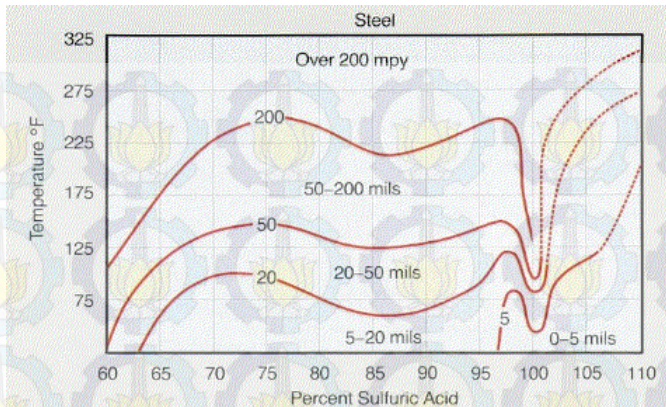
Asam sulfat bereaksi dengan kebanyakan logam via reaksi penggantian tunggal, menghasilkan gas hidrogen dan logam sulfat.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  encer menyerang besi, aluminium, seng, mangan, magnesium, dan nikel. Namun reaksi dengan timah dan tembaga memerlukan asam sulfat yang panas dan pekat. Timbal dan tungsten tidak bereaksi dengan asam sulfat. Reaksi antara asam sulfat dengan logam biasanya akan menghasilkan hidrogen seperti yang ditunjukkan pada persamaan di bawah ini. Namun reaksi dengan timah akan menghasilkan sulfur dioksida daripada hidrogen.



Hal ini dikarenakan asam pekat panas umumnya berperan sebagai oksidator, manakala asam encer berperan sebagai asam biasa. Sehingga ketika asam pekat panas bereaksi dengan seng, timah, dan tembaga, ia akan menghasilkan garam, air dan sulfur dioksida, sedangkan asam encer yang beraksi dengan logam seperti seng akan menghasilkan garam dan hidrogen.

Baja dalam asam sulfat memiliki sifat semakin encer asam maka reaksi korosi semakin cepat. Kurva pada gambar 2.7 merepresentasikan laju korosi sebesar 5, 20, 50, dan 200 mpy. gambar di bawah ini merupakan isokorosi atau garis konstan korosi. Dengan kata lain, daerah outlined merepresentasikan daerah dimana laju korosi 5, 5-20, 20-50, 50-200, dan lebih dari 200 mpy dapat diperkirakan. Gambar 2.7 mengindikasikan bahwa baja tidak cocok digunakan dalam konsentrasi dibawah 65% pada semua temperatur. Apanila konsentrasi di atas 70% , baja dapat digunakan tergantung pada temperatur. Baja pada umumnya tidak dapat digunakan pada temperatur diatas 175°F. (Fontana, 1987)





**Gambar 2.6** Korosi Baja dalam Asam Sulfat sebagai Fungsi Konsentrasi dan Temperatur

#### 2.2.2.2 Penggunaan

Asam sulfat merupakan komoditas kimia yang sangat penting, dan sebenarnya pula, produksi asam sulfat suatu negara merupakan indikator yang baik terhadap kekuatan industri negara tersebut (Chenelier, 1987). Kegunaan utama (60% dari total produksi di seluruh dunia) asam sulfat adalah dalam "metode basah" produksi asam fosfat, yang digunakan untuk membuat pupuk fosfat dan juga trinitrat fosfat untuk deterjen. Sebagai bahan baku dalam proses pembentukan sumber energi listrik yaitu aki karena sifatnya yang merupakan elektrolit kuat

#### 2.2.3 Asam Nitrat

Senyawa kimia **asam nitrat** ( $\text{HNO}_3$ ) adalah sejenis cairan korosif yang tak berwarna, dan merupakan asam beracun yang dapat menyebabkan luka bakar. Larutan asam nitrat dengan kandungan asam nitrat lebih dari 86% disebut sebagai **asam nitrat berasap**, dan dapat dibagi menjadi dua jenis asam, yaitu asam nitrat berasap putih dan asam nitrat berasap merah.

Asam nitrat adalah larutan asam kuat yang mempunyai nilai pKa sebesar -2. Di dalam air, asam ini terdisosiasi menjadi ion-



ionnya, yaitu ion nitrat  $\text{NO}_3^-$  dan ion hidronium ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ). Garam dari asam nitrat disebut sebagai garam nitrat (contohnya seperti kalsium nitrat atau barium nitrat). Dalam temperatur ruangan, asam nitrat berbentuk uap berwarna merah atau kuning. Asam nitrat dan garam nitrat adalah sesuatu yang berbeda dengan asam nitrit dan garamnya, garam nitrit.

### 2.2.3.1 Sifat

Asam nitrat murni (100%) merupakan cairan tak berwarna dengan berat jenis  $1.522 \text{ kg/m}^3$ . Ia membeku pada temperatur  $-42^\circ\text{C}$ , membentuk kristal-kristal putih, dan mendidih pada  $83^\circ\text{C}$ . Ketika mendidih pada temperatur kamar, terdapat dekomposisi (penguraian) sebagian dengan pembentukan nitrogen dioksida sesudah reaksi:



yang berarti bahwa asam nitrat anhidrat sebaiknya disimpan di bawah  $0^\circ\text{C}$  untuk menghindari penguraian. Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) tetap larut dalam asam nitrat yang membuatnya berwarna kuning, atau merah pada temperatur yang lebih tinggi. Manakala asam murni cenderung mengeluarkan asap putih ketika terpapar ke udara, asam dengan nitrogen dioksida terlarut mengeluarkan uap berwarna coklat kemerah-merahan, yang membuatnya dijuluki "asam berasap merah" atau "asan nitrat berasap". Asam nitrat berasap juga dirujuk sebagai asam nitrat 16 molar (bentuk paling pekat asam nitrat pada temperatur dan tekanan standar).

Asam nitrat bercampur dengan air dalam berbagai proporsi dan distilasi menghasilkan azeotrop dengan konsentrasi 68%  $\text{HNO}_3$  dan titik didih  $120,5^\circ\text{C}$  pada 1 atm. Terdapat dua hidrat padat yang diketahui, yaitu monohidrat ( $\text{HNO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) dan trihidrat ( $\text{HNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ).

Nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) larut dalam asam nitrat dan sifat ini memengaruhi semua sifat fisik asam nitrat yang tergantung pada konsentrasi oksida (seperti tekanan uap di atas cair, temperatur didih, dan warna yang dijelaskan di atas).



Peningkatan konsentrasi asam nitrat dipengaruhi oleh dekomposisi termal maupun cahaya, dan hal ini dapat menimbulkan sejumlah variasi yang tak dapat diabaikan pada tekanan uap di atas cairan karena nitrogen oksida yang diproduksi akan terlarut sebagian atau sepenuhnya di dalam asam.

### 2.2.3.2 Sifat-Sifat Asam

Sebagai mana asam pada umumnya, asam nitrat bereaksi dengan alkali, oksida basa, dan karbonat untuk membentuk garam, seperti amonium nitrat. Karena memiliki sifat mengoksidasi, asam nitrat pada umumnya tidak menyumbangkan protonnya (yakni, ia tidak membebaskan hidrogen) pada reaksi dengan logam dan garam yang dihasilkan biasanya berada dalam keadaan teroksidasi yang lebih tinggi. Karenanya, perkaratan (korosi) tingkat berat bisa terjadi. Perkaratan bisa dicegah dengan penggunaan logam ataupun paduan anti karat yang tepat.

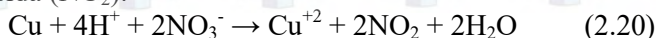
Asam nitrat memiliki tetapan disosiasi asam ( $pK_a$ ) 1,4: dalam larutan akuatik, asam nitrat hampir sepenuhnya (93% pada 0.1 mol/L) terionisasi menjadi ion nitrat  $\text{NO}_3^-$  dan proton terhidrasi yang dikenal sebagai ion hidronium,  $\text{H}_3\text{O}^+$ .



### 2.2.3.3 Sifat-sifat oksidasi

#### 1. Reaksi dengan logam

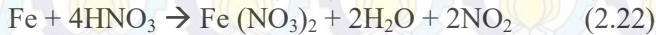
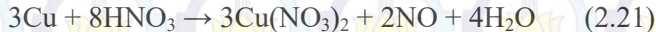
Sebagai sebuah oksidator yang kuat, asam nitrat bereaksi dengan hebat dengan sebagian besar bahan-bahan organik dan reaksinya dapat bersifat eksplosif. Produk akhirnya bisa bervariasi tergantung pada konsentrasi asam, temperatur, serta reduktor. Reaksi dapat terjadi dengan semua logam kecuali deret logam mulia dan paduan tertentu. Karakteristik ini membuat asam nitrat menjadi agen yang umumnya digunakan dalam uji asam. Sebagai kaidah yang umum, reaksi oksidasi utamanya terjadi dengan asam pekat, memfavoritkan pembentukan nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ).







Sifat-sifat asam cenderung mendominasi pada asam nitrat encer, diikuti dengan pembentukan nitrogen oksida (NO) yang lebih diutamakan.



Karena asam nitrat merupakan oksidator, hidrogen ( $\text{H}_2$ ) jarang terbentuk. Hanya magnesium (Mg), mangan (Mn), dan kalsium (Ca) yang bereaksi dengan asam nitrat *dingin* dan *encer* yang dapat menghasilkan hidrogen:



Asam nitrat mampu menyerang dan melarutkan semua logam yang ada pada tabel periodik, kecuali emas dan platina.

## 2. Pemasifan

Kendati Cr, Fe, dan Al akan terlarut dalam asam nitrat yang encer, asam pekat akan membentuk sebuah lapisan logam oksida yang melindungi logam dari oksidasi lebih lanjut. Hal ini disebut dengan pemasifan. Konsentrasi pemasifan yang umum berkisar dari 18% sampai 22% berat.

## 3. Reaksi dengan non-logam

Ketika asam nitrat bereaksi dengan berbagai unsur non-logam, terkecuali silikon serta halogen, biasanya ia akan mengoksidasi non-logam tersebut ke keadaan oksidasi tertinggi dengan asam nitrat menjadi nitrogen dioksida untuk asam pekat dan nitrogen monoksida untuk asam encer.



ataupun



### 2.2.3.4 Penggunaan

Asam nitrat biasanya digunakan di laboratorium sebagai reagen. Larutan ini juga dipakai untuk memproduksi bahan-bahan yang meledak seperti nitrogliserin, trinitrotoluena (TNT) dan





Siklotrimetilenatrinitramin (RDX), dan juga untuk pembuatan amonium nitrat.

Asam nitrat juga digunakan di bagian metalurgi dan pengilangan karena dapat bereaksi dengan metal. Ketika dicampurkan dengan asam klorida, maka campuran ini akan membentuk aqua regia, satu dari sedikit reagen yang dapat melarutkan emas dan platinum. Asam nitrat juga merupakan komponen dari hujan asam.

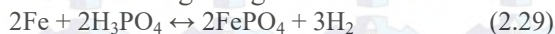
#### 2.2.4 Asam Fosfat

Asam fosfat atau yang dikenal sebagai *orthophosphoric acid* merupakan mineral asam anorganik yang memiliki formula kimia  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Asam fosfat bisa mendonorkan lebih dari satu proton nya dan disebut sebagai asam lemah poliprotik. Asam poli protik juga didefinisikan dalam berbagai langkah disosiasi asam yang selalu konstan. Berikut adalah contoh disosiasi asam fosfat dalam 3 langkah:



Pengurangan tingkat  $K_a$  dari  $K_{a1}$  sampai  $K_{a3}$  menjelaskan bahwa setiap penurunan, reaksi proton yang ada bertambah susah untuk dilepaskan. Akibatnya  $\text{H}_3\text{PO}_4$  merupakan asam yang lebih kuat dibanding dengan  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  dan  $\text{HPO}_4^-$  lebih kuat bila dibandingkan dengan  $\text{HPO}_4^-$ . (Harvey, 1956)

Reaksi Asam Fosfat dengan logam besi :



Korosi oleh asam fosfat tergantung pada metode manufaktur dan persen pengotor pada produk komersil. Florida, klorida, dan asam sulfat merupakan pengotor utama pada proses manufaktur. Contohnya pada *high-silicon iron*, baja tahan karat tanpa molibdenum, keramik, dan tantalum korosi dipengaruhi oleh persen HF sebagai pengotor asam fosfat (Fontana, 1987)



### 2.3 Korosi

Korosi merupakan hasil dari reaksi kimia antara sebuah logam atau paduan logam dengan lingkungannya. Atom logam di alam berupa senyawa kimia (mineral). Jumlah yang sama dengan energi yang dibutuhkan untuk mengekstraksi logam dari bentuk mineralnya dipancarkan selama reaksi kimia yang menghasilkan korosi. Korosi mengembalikan logam menjadi senyawa kimia yang sama atau identik dengan bentuk mineral yang telah diekstraksi sebelumnya. Sehingga, korosi disebut sebagai kebalikan dari ekstraksi metalurgi. (Denny, 1996)

Ada 4 syarat logam mengalami korosi. Berikut syarat-syarat terjadinya korosi:

#### 1. Anoda

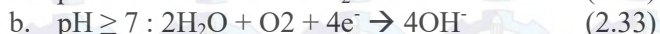
Anoda biasanya terkorosi dengan melepaskan elektron-elektron dari atom-atom logam netral untuk membentuk ion-ion yang bersangkutan. Ion-ion ini mungkin tetap tinggal dalam larutan atau bereaksi membentuk hasil korosi yang tidak larut. Reaksi pada anoda dapat dituliskan dengan persamaan :



Dengan  $z$  adalah valensi logam dan umumnya  $z = 1, 2$ , atau  $3$

#### 2. Katoda

Katoda biasanya tidak mengalami korosi, walaupun mungkin menderita kerusakan dalam kondisi-kondisi tertentu. Reaksi yang terjadi pada katoda berupa reaksi reduksi. Reaksi pada katoda tergantung pada pH larutan yang bersangkutan, seperti :



#### 3. Elektrolit

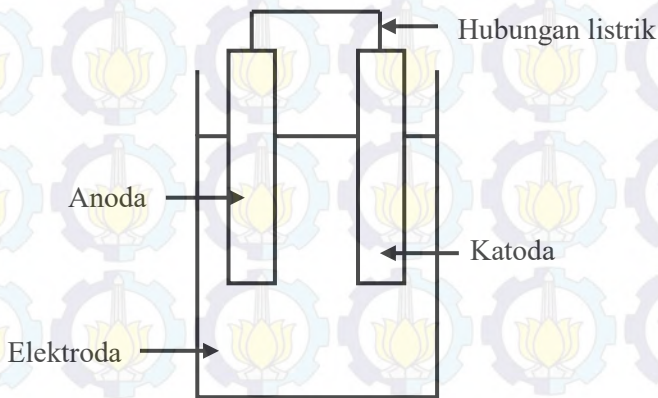
Elektrolit adalah larutan yang mempunyai sifat menghantarkan listrik. Elektrolit dapat berupa larutan asam, basa



dan larutan garam. Larutan elektrolit mempunyai peranan penting dalam korosi logam karena larutan ini dapat menjadikan kontak listrik antara anoda dan katoda.

#### 4. Anoda dan Katoda harus terhubung secara elektris

Antara anoda dan katoda harus ada hubungan listrik agar arus dalam sel korosi dapat mengalir. Hubungan secara fisik tidak diperlukan jika anoda dan katoda merupakan bagian dari logam yang sama. Proses tersebut dapat dilihat dalam bentuk sel korosi basah sederhana berikut :



**Gambar 2.7** Sel Korosi Sederhana ( Trethewey, 1991 )

Korosi tidak dapat didefinisikan tanpa referensi ke lingkungan. Semua lingkungan memiliki sifat korosif untuk beberapa derajat.

Berikut ini adalah daftar dari lingkungan korosif:

1. Udara dan kelembaban .
2. Air segar , suling , garam dan air laut .
3. Atmosfer alam , perkotaan , dan industri kelautan
4. Uap dan gas , seperti klorin .
5. Amonia dan Hidrogen sulfida
6. Sulfur dioksida dan oksida nitrogen





7. gas bahan bakar
8. Asam
9. Alkalies
10. Tanah

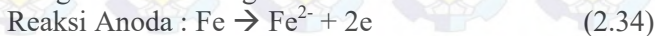
### 2.3.1 FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KOROSI

Umumnya problem korosi disebabkan oleh air, tetapi ada beberapa faktor selain air yang mempengaruhi laju korosi, diantaranya:

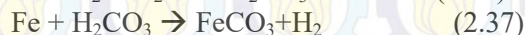
#### 2.3.1.1 Pengaruh Komposisi Air pada lingkungan

##### a. Faktor Gas Terlarut.

Oksigen ( $O_2$ ), adanya oksigen yang terlarut akan menyebabkan korosi pada metal seperti laju korosi pada mild steel alloys akan bertambah dengan meningkatnya kandungan oksigen. Reaksi korosi secara umum pada besi karena adanya kelarutan oksigen adalah sebagai berikut:



Karbon dioksida ( $CO_2$ ), jika karbon dioksida dilarutkan dalam air maka akan terbentuk asam karbonat ( $H_2CO_3$ ) yang dapat menurunkan pH air dan meningkatkan korosifitas, biasanya bentuk korosinya berupa pitting yang secara umum reaksinya adalah:



##### b. Faktor Temperatur

Penambahan temperatur umumnya menambah laju korosi walaupun kenyataannya kelarutan oksigen berkurang dengan meningkatnya temperatur. Apabila metal pada temperatur yang tidak uniform, maka akan besar kemungkinan terbentuk korosi.

##### c. Faktor pH

pH netral adalah 7, sedangkan  $pH < 7$  bersifat asam dan korosif, sedangkan untuk  $pH > 7$  bersifat basa juga korosif. Tetapi





untuk besi, laju korosi rendah pada pH antara 7 sampai 13. Laju korosi akan meningkat pada  $\text{pH} < 7$  dan pada  $\text{pH} > 13$ .

#### d. Faktor Bakteri

Pereduksi atau Sulfat Reducing Bacteria (SRB) Adanya bakteri pereduksi sulfat akan mereduksi ion sulfat menjadi gas  $\text{H}_2\text{S}$ , yang mana jika gas tersebut kontak dengan besi akan menyebabkan terjadinya korosi.

#### e. Faktor Padatan Terlarut

- Klorida ( $\text{Cl}$ ),

Korosi pada baja karbon antara lain dipengaruhi oleh konsentrasi agresif seperti ion klorida. Konsentrasi ion klorida yang tinggi akan semakin meningkatkan kecenderungan terjadinya korosi (ASM Internasional, 2003).

- Karbonat ( $\text{CO}_3$ ),

Kalsium karbonat sering digunakan sebagai pengontrol korosi dimana film karbonat diendapkan sebagai lapisan pelindung permukaan metal, tetapi dalam produksi minyak hal ini cenderung menimbulkan masalah scale.

- Sulfat ( $\text{SO}_4$ ),

Ion sulfat ini biasanya terdapat dalam minyak. Dalam air, ion sulfat juga ditemukan konsentrasi yang cukup tinggi dan bersifat kontaminan, dan oleh bakteri SRB sulfat diubah menjadi sulfide yang korosif.

#### 2.3.1.2 Pengaruh Komposisi Kimia

Komposisi dalam besi atau baja secara komersil hanya baja karbon dan baja paduan rendah, secara praktikal tak ada efek pada laju korosi dalam *natural water* atau tanah. Hanya bila baja dipadukan dalam proporsi *stainless steel* ( $\text{Cr} > 12\%$ ) atau paduan *high silicon-iron* atau *high nickel-iron* maka masalah korosi cukup besar mampu direduksi. Untuk yang terekspos udara luar, keadaan diubah karena penambahan elemen tertentu dalam



jumlah kecil, seperti ; 0,1 – 1% Cr, Cu atau Ni, memiliki efek protektif berupa film yang membentuk *rust* secara alami.

Meskipun kandungan karbon tidak memiliki efek pada laju korosi dari air, laju korosi meningkat lebih sedikit (maksimum 20%) bila kandungan karbon ditingkatkan dari 0,1 – 0,8%. Karena peningkatan ini sangat penting dihubungkan terhadap reaksi evolusi hidrogen dalam bentuk larutan klorida (membentuk kompleks  $\text{Fe}^{2+}$  dengan  $\text{Cl}^-$ ) tambahan terhadap depolarisasi oksigen selama permukaan katodik sementit ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) meningkat. Dalam asam, laju korosi meningkat dengan kehadiran kandungan karbon dan nitrogen dalam baja. Tingkat kenaikan sebagian besar tergantung dari perlakuan panas dan lebih besar pada baja pengerjaan dingin.

Paduan sulfur dan posfor menunjukkan peningkatan laju serangan dalam asam. Elemen ini membentuk senyawa yang jelas memiliki overpotential hidrogen yang rendah; tambahan lagi, paduan ini cenderung untuk menurunkan polarisasianodik. Sehingga laju korosi bisa didorong oleh elemen ini pada kedudukan anodik dan katodik keduanya.

Kehadiran unsur pada beberapa baja hanya dalam jumlah kecil. Arsen meningkatkan laju korosi dalam asam, efeknya sama pada sulfur dan posfor, tetapi dalam jumlah besar (0,2%) bisa menurunkan laju korosi. Mangan yang ditambahkan dalam proporsi normal (sampai 1%) pada baja komersil tidak mempengaruhi laju korosi.

Tembaga yang dipadukan dengan besi murni dengan kadar 10% saja cukup untuk meningkatkan laju korosi dalam asam. Keberadaan posfor dan sulfur, bagaimanapun juga, dalam komponen normal baja komersi, unsur Cu menghalangi efek dari akselerasi akibat elemen ini. *Copper –bearing steel* biasanya terkorosi dalam asam non-oksidasi lebih rendah dibandingkan baja tanpa Cu.

Baja yang mengandung sedikitnya 10% Cu lebih tahan terhadap udara luar tetapi tidak memperlihatkan manfaat melebihi



baja tanpa Cu dalam *natural water* atau terbenam dalam tanah dimana difusi  $O_2$  mengontrol laju korosi.

### 2.3.1.3 Pengaruh Unsur Paduan

Unsur paduan juga dapat mempengaruhi korosi pada baja, berikut merupakan unsur paduan yang memiliki pengaruh tinggi terhadap korosi baja:

a. Nikel

Nikel dalam jumlah yang stabil akan menstabilkan struktur austenit yang akan meningkatkan sifat mekanik dan karakteristik fabrikasi. Nikel sangat efektif dalam memperbesar daerah pasif terutama dalam lingkungan reduktif. Selain itu dapat berfungsi dalam meningkatkan ketahanan korosi pada lingkungan asam material. Paduan ini dapat menstabilkan struktur austenit dalam baja tahan karat austenitik dan menurunkan ketahanan terhadap SCC bila kandungan 8-10%, tetapi pada kadar lebih tinggi dapat meningkatkan ketahanan terhadap SCC.

b. Molibdenum

Mo sangat berperan aktif dalam ketahanan korosif terutama korosi sumuran (pitting) dan korosi celah (crevice). Adanya molibdenum dapat menggeser daerah aktif pasif baja pada daerah rapat arus yang lebih kecil.

c. Mangan

Mangan memiliki fungsi yang hampir sama dengan nikel. Kelebihan mangan secara mekanik adalah membentuk baja tahan karat yang tahan abrasi. Namun kelemahan mangan adalah sangat mudah berinteraksi dengan lingkungan yang mengandung sulfur dan membentuk senyawa Mangan Sulfida.

d. Kromium

Kromium adalah salah satu paduan yang harus ada dalam pembentukan lapisan pasif. Lapisan pasif dapat terbentuk dengan





adanya kadar kromium 10,5%. Sedangkan baja tahan karat austenitik mengandung 17-20% Cr sehingga lapisan pasif yang terbentuk lebih tebal sehingga lebih tahan korosi pada lingkungan korosif. Kromium akan membentuk lapisan pasif yang tebalnya tergantung pada jumlah kromium yang ditambahkan.

e. Tembaga

Cu meningkatkan ketahanan korosi atmosferik pada baja paduan dan baja paduan rendah jika kadarnya lebih dari 0,20%. Selain itu, paduan tembaga juga membantu ikatan adhesi *painting* pada permukaan baja jika diberikan *painting*. Pada baja tahan karat austenitic, kadar Cu di atas 1% mampu meningkatkan daya tahan terhadap  $H_2SO_4$  dan HCl serta *stress corrosion*.

### 2.3.2 Bentuk-bentuk korosi

#### 1. Korosi sumuran

Korosi sumuran merupakan serangan korosi lokal yang menghasilkan lubang. Serangan ini biasanya menyerang dibagian dalam dinding interior berupa adanya lubang yang seragam, tetapi terkadang tidak teratur. Setiap logam hasil rekayasa atau paduan tertentu rentan terhadap pitting. *Pitting* ini terjadi ketika satu bidang permukaan logam menjadi anodik terhadap permukaan lainnya. Pada permukaan yang normal, pitting akan terjadi apabila diawali dengan rusaknya lapisan pasif atau rusaknya lapisan yang dihasilkan oleh inhibitor. Adanya serangan *pitting* sulit untuk dideteksi, namun korosi tipe ini sangat berbahaya sehingga tidak dapat diremehkan. Banyak lubang kecil yang sering tidak terdeteksi oleh mata. Karena ada beberapa lubang yang terisolasi dengan produk korosinya tersebut (ASM International, 1994).

Agar *pitting* dapat berlangsung, maka harus terbentuk suatu anoda pada logam tersebut. Dengan adanya anoda, sel korosi lokal akan berkembang membentuk rongga maupun sumur. Berikut merupakan hal-hal yang menyebabkan terbentuknya anoda :





1. Kurangnya homogenitas pada antarmuka logam.  
Kurangnya homogenitas pada permukaan logam disebabkan oleh kotoran, batas butir, ceruk, permukaan kasar, dll. perbedaan dalam lingkungan dapat menyebabkan pembentukan sel-sel konsentrasi pada permukaan logam.
2. penghancuran film pasif.  
Penghancuran film pasif menyebabkan pembentukan anoda kecil. Oleh karena itu, film pelindung yang rusak pada permukaan logam akan menjadi anoda dan permukaan sekitarnya yang memiliki lapisan pelindung akan bertindak sebagai katoda. Dengan demikian, perbandingan luas antara anoda dengan katoda menjadi tidak seimbang.
3. deposito puing atau padatan pada permukaan logam.  
Adanya deposit padatan akan mengarah pada pembentukan anodik dan katodik..
4. pembentukan sel aktif-pasif dengan perbedaan potensial yang besar.  
Pembentukan anoda kecil pada permukaan baja pasif, mengarah pada pembentukan sel aktif-pasif.

(Ahmad, 2006)

Pada dasarnya tiga proses yang terlibat sehingga terbentuk pitting adalah:

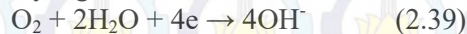
- a. inisiasi pitting
- b. propagasi pitting
- c. pitting terminasi.

Langkah (1) dari mekanisme berikut menggambarkan inisiasi pitting, langkah (2-5) menggambarkan propagasi pitting, dan langkah (6) penghentian pitting.

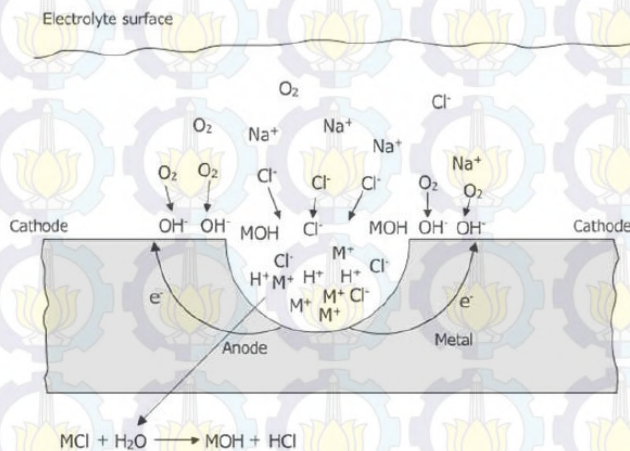
1. Pembentukan anoda akibat rusaknya lapisan pasif pelindung pada permukaan logam, menyebabkan reaksi reduksi logam berlangsung di anoda. Sehingga *pitting* akan mulai terinisiasi. Berikut merupakan reaksi reduksi logam pada anodik :



Ini seimbang dengan reaksi katodik dari oksigen pada permukaan yang berdekatan.



Awalnya, seluruh permukaan terkontak dengan elektrolit yang mengandung oksigen sehingga reduksi oksigen seperti yang ditunjukkan di atas terjadi.



**Gambar 2.8** Skema pertumbuhan pit aktif pada logam dalam larutan klorida

2. Karena reaksi reduksi logam terus terjadi, maka jumlah ion positif  $M^+$  akan terakumulasi di daerah anodik. proses ini berlangsung secara autokatalik. Untuk menjaga netralitas pada daerah sumur, maka ion dengan muatan negatif ( anion ), seperti klorida dari



Ion  $OH^-$  juga bermigrasi (tapi lebih lambat) untuk menetralkan muatan positif. Reaksi  $M + Cl^-$  dengan  $H_2O$  menghasilkan pembentukan  $M + OH^- + H + Cl^-$ . Proses ini disebut hidrolisis.



3. Kehadiran ion  $H^+$  dan konten klorida, mencegah proses repasivasi. Proses di atas menghasilkan asam bebas dan secara substansial menurunkan nilai pH dibawah lubang antara 1,5 dan 1,0. Nilai pH tergantung pada jenis steelvalues untuk pit stainless steel yang lebih rendah daripada baja ringan memiliki pH pit 4. Hal ini disebabkan efek kelarutan kromium. Dalam baja tahan karat, pH menurun disebabkan oleh reaksi hidrolisis  $Cr^{3+}$ ,  $Fe^{2+}$  juga akumulasi klorida.
4. Peningkatan laju disolusi pada anoda meningkatkan tingkat migrasi ion klorida dan reaksi menjadi tergantung waktu dan terus menerus, sehingga terbentuk lebih banyak lebih  $M + Cl^-$  dan, karena itu, generasi yang lebih dan lebih  $H + Cl^-$  oleh hidrolisis.
5. Proses berlanjut sampai logam berlubang. Proses ini autokatalitik dan meningkat dengan waktu sehingga semakin banyak reduksi logam.
6. Akhirnya, logam berlubang dan reaksi dihentikan.

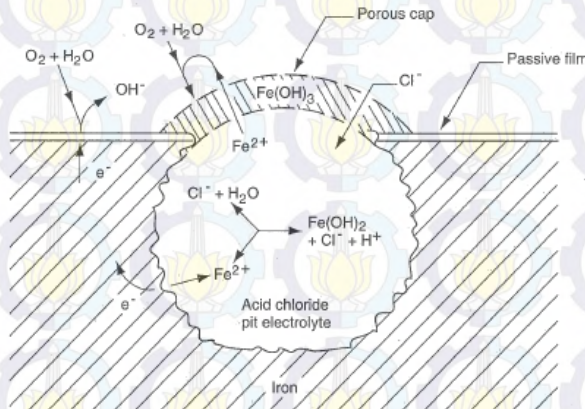
(Ahmad, 2006)

Pada saat pertumbuhan pit, misal untuk pitting dalam larutan klorida pada stainless steel. Produksi anoda bermuatan positif yang berlebihan dari  $Fe^{2+}$  menarik anion yang bermuatan negatif, misalnya  $Cl^-$  pada daerah inisiasi pitting. Hasilnya adalah adanya mekanisme autokatalitik dari pertumbuhan pit. Larutan asam klorida mempercepat disolusi anodik sehingga lebih berkonsentrasi pada klorida yang berada dalam pit. Sebuah topi hasil produk korosi  $Fe(OH)_3$  yang tidak dapat terlarut, berkumpul pada mulut pit ketika  $Fe^{3+}$  dan mengendap dalam larutan. Topi tersebut menghambat hilangnya  $Fe^{2+}$  namun menimbulkan lubang untuk memberi kesempatan  $Cl^-$  masuk ke dalam pit, sehingga

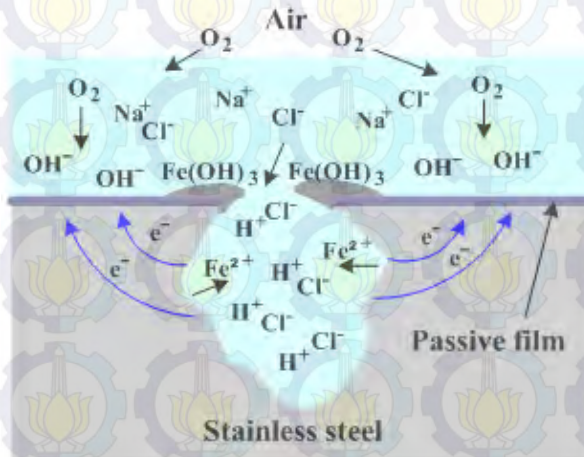




mempertahankan konsentrasi asam klorida yang tinggi di dalam pit (Jones, 1996).

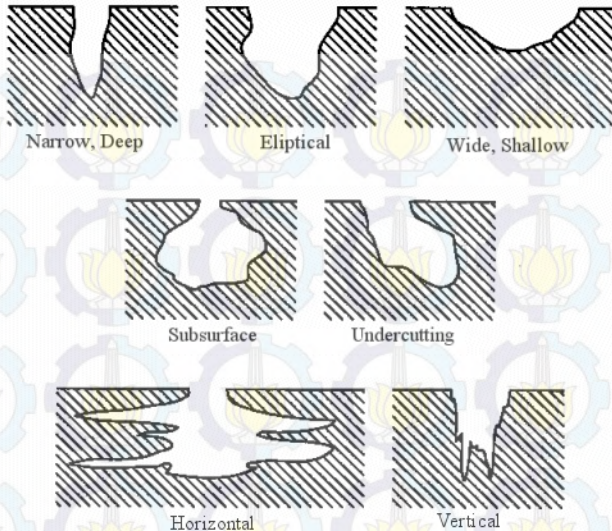


**Gambar 2. 9** Skema proses yang terjadi pada pertumbuhan pit yang aktif (Jones, 1996)



**Gambar 2.10** Mekanisme Terjadinya *Pitting Corrosion* pada *Stainless Steel* (Fong-Yuan, t.thn.)





**Gambar 2.11** Bentuk korosi sumuran (ASTM G - 48)

## 2. Korosi celah

Korosi celah sering menyerang pada daerah yang sempit atau celah pada dua bidang. Celah biasanya merupakan tempat berkumpulnya media lingkungan. Jika media tersebut adalah media korosif dan penumpukan konsentrasi berlangsung dalam jangka waktu yang lama maka akan mengakibatkan korosi. Korosi celah dapat diketahui dari beberapa tanda yang akan menyebabkan korosi ini terjadi, antara lain:

1. Perubahan keasaman tanah.
2. Kekurangan oksigen pada celah tersebut.
3. Terbentuknya ion-ion yang merugikan (concentration cell) pada celah, misalnya Cl.



**Gambar 2.12** Korosi Celah (outokumpu,2013)

### **3. Korosi seragam**

Korosi yang terjadi pada permukaan logam akibat reaksi kimia karena pH air yang rendah dan udara yang lembab, sehingga makin lama logam makin menipis. Biasanya korosi ini terjadi pada pelat baja dan logam homogen.

Korosi seragam pada baja tahan karat terjadi ketika lapisan pasif rusak keseluruhan atau pada bagian yang besar dari permukaan. Reaksi anoda dan katoda terjadi pada permukaan sama saat terjadi perubahan lokasi konstan seperti yang terjadi pada baja karbon, korosi seragam dapat terjadi pada baja tahan karat dalam larutan asam maupun alkaline panas. Pada umumnya korosifitas lingkungan meningkat dengan tingginya temperatur.



**Gambar 2.13** Korosi Seragam (outokumpu,2013)

Dalam lingkungan dengan temperatur dan komposisi kimia konstan, korosi seragam terjadi dengan laju yang konstan. Hal ini berbeda dengan korosi sumuran dan korosi celah, laju korosi



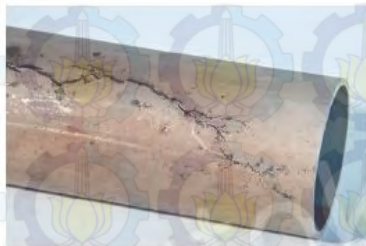
seragam dapat dihitung. Baja tahan karat normalnya tahan terhadap korosi seragam dalam lingkungan yang spesifik jika laju korosi tidak melebihi 0,1 mm/tahun.

#### 4. Stress Corrosion Cracking

Korosi tegangan ini adalah korosi yang terjadi akibat adanya aksi gabungan antara, tegangan dan tekanan serta berada pada lingkungan yang korosif. Korosi ini sangat berbahaya karena sebagian besar alloys sangat mudah terpengaruh oleh *stress corrosion cracking* (SCC).

Mekanisme terjadinya korosi ini berawal dari adanya tegangan sisa atau tegangan yang berasal dari luar. Awal terjadinya retakan berasal dari korosi sumuran yang nantinya akan berkembang menjadi SCC. Karakteristik dari SCC sendiri adalah seperti berikut :

1. SCC memerlukan suatu tegangan dan tekanan, apabila berada pada bawah nilai batas tegangan (*threshold stress*) maka craking tidak akan terjadi.
2. Secara makro, retak terlihat rapuh (brittle) yang merusakkan sifat mekanik logam
3. Korosi tegangan tergantung pada kondisi metalurgi dari paduan tersebut
4. SCC dapat terjadi pada lingkungan yang cukup baik (tidak memungkinkan terjadi korosi) untuk baja atau paduan.



**Gambar 2.14** *Stress Corrosion Cracking*





*Intergranular Stress Corrosion Cracking* yaitu dimana cracking terjadi sepanjang batas butir. Hal ini terjadi pada air murni dengan temperatur tinggi (200-300°C) dengan kandungan oksigen yang relatif tinggi (~0,2 ppm). Jenis korosi ini sering terjadi pada boiling water reactors (BWR) yang mengalami presipitasi karbida pada batas butir.

### **5. Korosi Fatigue**

Sebuah material yang mendapatkan pembebanan siklik dapat mengalami kegagalan berupa fatigue. Jika material secara simultan terekspos pada lingkungan yang korosif kegagalan dapat terjadi walaupun pada level pembebanan yang rendah atau jangka waktu yang pendek. Kegagalan dengan kombinasi antara beban siklik dan lingkungan korosif disebut korosi fatigue.

Korosi fatigue biasanya memiliki cabang yang lebih sedikit dibandingkan dengan SCC. Meskipun keduanya merupakan bentuk dari korosi yang disebabkan kegagalan getas. Meningkatkan kekuatan mekanik dari baja juga menambah ketahanan terhadap korosi fatigue.

### **6. Korosi intergranular**

Korosi intergranular adalah korosi yang terjadi pada batas butir sebagai akibat dari presipitasi karbida kromium dan fasa intermetalik. Korosi jenis ini berpotensi terjadi pada baja tahan karat karena kandungan karbon yang tinggi (0,05-0,15%).

Korosi intergranular dapat terjadi apabila baja tahan karat terekspose pada temperatur antara 550-850°C. Karbida kromium dengan kandungan karbida yang tinggi dapat membentuk presipitasi sepanjang batas butir yang dapat menyebabkan menurunnya ketahanan terhadap korosi. Sebuah baja tahan karat yang mengalami perlakuan panas memproduksi presipitasi pada batas butir dan menguras kromium pada butir, proses ini disebut sebagai sensitisasi. Sensitisasi dapat terjadi sebagai hasil dari pengelasan atau hot forming temperatur yang tidak tepat.

(outokumpu, 2013)





## 7. Korosi Galvanik

Korosi galvanik memiliki ciri yang khas dan khusus. Korosi ini terjadi apabila ada buah logam yang berbeda jenis berkontak (dihubungkan dengan suatu penghantar) dan keadaan tersebut terjadi pada lingkungan yang konduktif (lingkungan asam, air). Perbedaan potensial yang terjadi akibat dua logam yang berbeda dapat menghasilkan gaya untuk mengalirkan listrik sehingga korosi pun terjadi. Semakin besar perbedaan potensial keduanya maka makin besar kemungkinan terjadinya korosi.

## 8. Korosi erosi

Korosi erosi terjadi akibat kecepatan tinggi, turbulensi, *impingment*, dan sebagainya. Jika gerakan fluida yang berada di permukaan logam semakin cepat maka semakin hilang pula kekuatan yang ada pada permukaan logam yang mengakibatkan timbulnya keausan dan akhirnya mengakibatkan terjadinya korosi. Pada umumnya korosi ini berwujud pada lekukan dangkal dengan dasar yang halus. Contoh tempat yang sering, terjadi korosi jenis ini adalah belokan dan siku dari pipa. Kavitasi dan *fretting corrosion* adalah salah satu bentuk dari korosi ini.

## 9. Korosi mikrobiologi

Korosi yang terjadi akibat dari mikroba Mikroorganisme yang mempengaruhi korosi antara lain bakteri, jamur, alga dan *protozoa*. Korosi ini bertanggung jawab terhadap degradasi material di lingkungan. Pengaruh laju korosi di suatu area, mikroorganisme umumnya berhubungan dengan permukaan korosi kemudian menempel pada permukaan logam dalam bentuk lapisan tipis. Pembentukan lapisan tipis saat 2 – 4 jam pencelupan sehingga membentuk lapisan ini terlihat hanya bintik-bintik.

### 2.3.3 Laju Korosi

Hampir semua korosi merupakan suatu reaksi elektrokimia, semua yang mempengaruhi kecepatan suatu reaksi kimia atau jumlah arus yang mengalir akan mempengaruhi laju korosi. Laju



korosi merupakan ukuran untuk menentukan besarnya degradasi material akibat korosi dengan lingkungannya. Semakin besar nilai laju korosi, maka material tersebut mengalami degradasi akibat korosi yang semakin besar. Derajat laju korosi dari suatu material dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 2.6** Derajat Laju Korosi

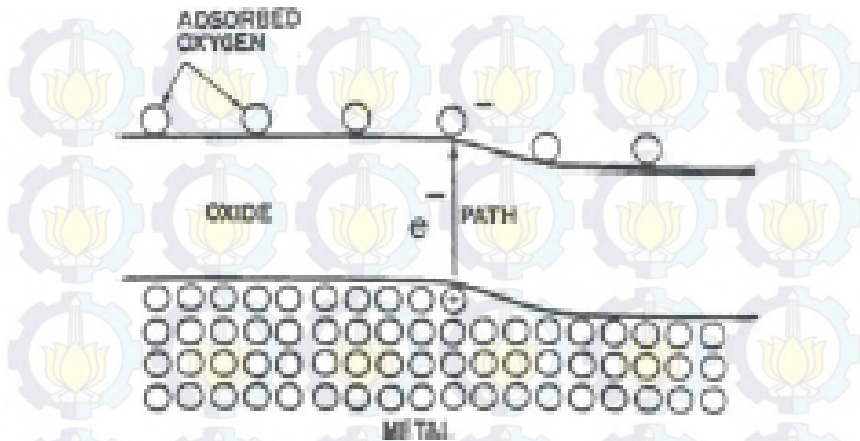
<i>Relative Corrosion Resistance</i>	<i>Mpy</i>	<i>Mm/yr</i>	<i>Mm/yr</i>	<i>Mm/h</i>	<i>Pm/s</i>
<i>Outstanding</i>	<1	<0,02	<25	<2	<1
<i>Excellent</i>	1-5	0,02-1	25-100	2-10	1-5
<i>Good</i>	5-20	0,1-0,5	10-500	10-50	20-50
<i>Fair</i>	20-50	0,5-1	500-1000	50-150	20-50
<i>Poor</i>	50-200	1-5	1000-5000	150-500	50-200
<i>Unacceptable</i>	200+	5+	5000+	500+	200+

Ada 3 metode yang digunakan untuk menyatakan laju korosi dari suatu material (Bardal, 2003):

- Polarisasi
- Kehilangan berat per unit area dan unit waktu (*weight loss*)
- Reduksi ketebalan material per unit waktu

### 2.3.4 Pasivasi

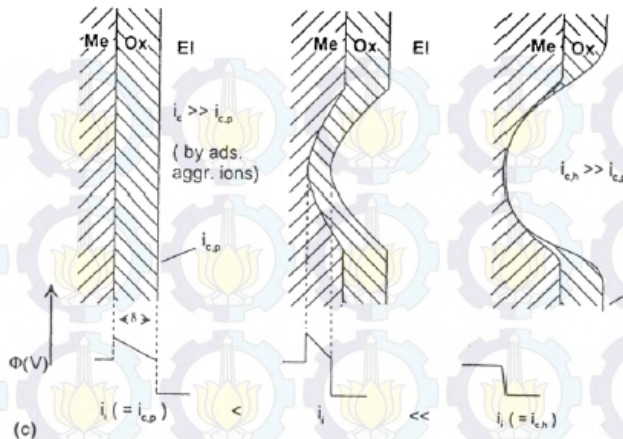
Sebuah lapisan oksida tipis pada logam menyediakan lapisan protektif yang dibutuhkan untuk membuat sebuah logam tersebut berguna. Tanpa lapisan tersebut, sebuah logam mudah bereaksi dengan senyawa yang lain. Sebuah lapisan tidak terlihat dengan mata telanjang, namun lapisan dapat terbentuk pada temperatur kamar. Dalam waktu kurang dari satu milidetik, oksigen di atmosfer menyerang atom-atom logam dan lapisan tipis oksida mulai terbentuk. Ketebalan dari lapisan oksida ini mencapai kisaran nanometer. Ketebalan ini bisa bertambah hingga pada ketebalan tertentu. (Francle P. Fehlner, 2002)



**Gambar 2.15** Proses terbentuknya lapisan pasif

Lapisan pasif terjadi ketika logam tertentu dan paduannya membentuk lapisan sangat tipis, lalu teroksidasi, lapisan protektif pada permukaan pada larutan yang korosi. Sehingga lapisan pasif didefinisikan sebagai kondisi dimana adanya ketahanan korosi karena adanya pembentukan film permukaan tipis di bawah kondisi polarisasi anodik yang tinggi. Beberapa logam dan paduan, memiliki film penghalang sederhana dengan mereduksi korosi pada potensial aktif dan pada polarisasi yang rendah. (Jones, 1996)





**Gambar 2.16** Proses rusaknya lapisan pasif (Henning, 2002)

## 2.4 Pengujian *Weight Loss*

Metode paling mendasar yang digunakan untuk mengukur korosi adalah dengan mengekspose sampel material ke dalam lingkungan korosi. Dalam hal ini pengukurannya ditekankan pada laju korosi seragam dari sampel (coupon) yang mengalami kehilangan berat. Sebelum dilakukan proses pengujian, terlebih dahulu dilakukan preparasi terhadap sampel yang akan digunakan. Pada umumnya sampel yang digunakan berbentuk segiempat atau lingkaran. Permukaan sampel kemudian dibersihkan dari oksida-oksida yang menempel menggunakan kertas ampelas dan dilanjutkan dengan melakukan penimbangan berat awal sampel. Kemudian sampel direndam kedalam larutan selama waktu yang telah ditentukan. Setelah proses perendaman selesai, dilakukan pembersihan dan penimbangan berat akhir sampel. Hasil pengurangan berat awal dan berat akhir digunakan untuk mengukur laju korosi.





Dalam penentuan laju korosi suatu logam, maka digunakan persamaan berikut ini:

$$CR = \frac{K.W}{D.A.T} \quad (2.41)$$

Dimana :

W = Berat yang hilang (gram)

D = Berat jenis logam (gram/cm<sup>3</sup>)

A = Luas permukaan kontak (cm<sup>2</sup>)

T = Waktu paparan (jam)

K = Konstanta laju korosi (mpy = 3,45x10<sup>6</sup>)

**Tabel 2.7** Konstanta Laju Korosi

Satuan Laju Korosi	Konstanta (K)
mils per year (mpy)	3.45 x 10 <sup>6</sup>
Inches per year (ipy)	3.45 x 10 <sup>3</sup>
Inches per mounth (ipm)	2.87 x 10 <sup>4</sup>
Millimeters per year (mm/y)	8.76 x 10 <sup>4</sup>
Micrometers per year (µm/y)	8.76 x 10 <sup>7</sup>
Picometers per second (pm/s)	2.78 x 10 <sup>6</sup>
Gram per square meter per hour (g/m <sup>2</sup> .h)	1.00 x 10 <sup>4</sup> x D <sup>A</sup>
Miligrams per square decimeter per day (mdd)	2.40 x 10 <sup>6</sup> x D <sup>A</sup>
Micrograms per square meter per second (µg/m <sup>2</sup> .s)	2.78 10 <sup>6</sup> x D <sup>A</sup>

(perez, 2004)

Menurut L.Caceres, dkk. dalam penelitiannya menyatakan bahwa pengujian *weight loss* mempunyai kelemahan dibandingkan teknik pengujian lainnya. Kelemahannya yaitu tidak dapat mendeteksi secara cepat perubahan yang terjadi pada proses korosi, perhitungan laju korosi pada *coupon* tidak dapat

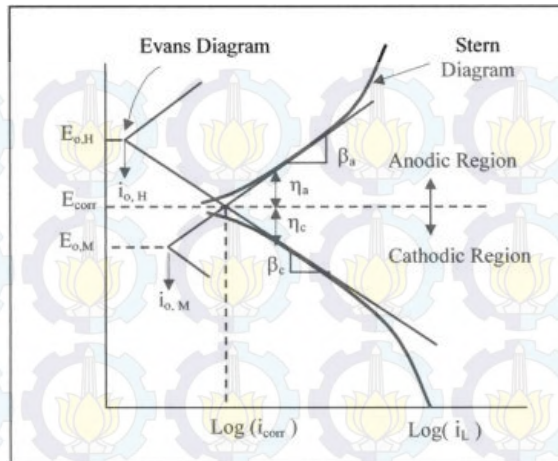


diterjemahkan secara langsung dari peralatan, *localized corrosion* tidak dapat dilihat secara langsung tanpa pemindahan *coupon* dari tempat pengujian, dan bentuk korosi tidak dapat dideteksi dari *coupon*. Namun, menurut Jia-Jung Fu, dkk. metode *weight loss* sering digunakan dalam skala laboratorium dan industri, karena memerlukan peralatan yang sederhana dan diperoleh data yang akurat tentang laju korosi.

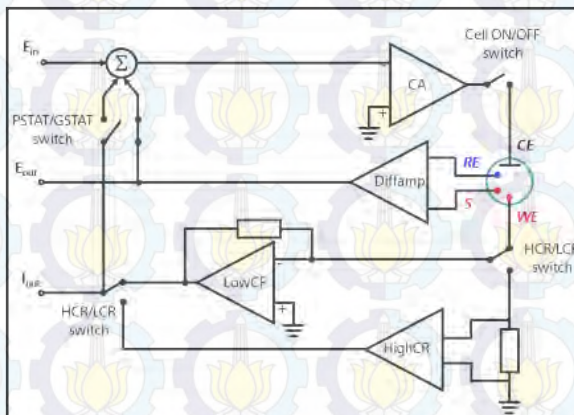
## 2.5 Pengujian Tafel Polarisisasi

Polarisasi merupakan suatu fenomena dimana terjadi penyimpangan potensial dari kondisi kesetimbangannya. Dengan metoda polarisasi, laju korosi dapat ditentukan oleh kerapatan arus yang timbul (*current density*) untuk menghasilkan suatu kurva polarisasi (tingkat perubahan potensial sebagai fungsi dari besarnya arus yang digunakan) untuk permukaan yang laju korosinya sedang ditentukan. Semakin tinggi kerapatan arus yang timbul, maka korosi akan semakin hebat begitupula sebaliknya (threteway, 1991). Ketika potensial pada logam terpolarisasi menggunakan arus pada arah positif, maka hal ini disebut sebagai terpolarisasi secara anodik. Apabila potensial pada permukaan logam terpolarisasi menggunakan arus pada arah negatif, maka disebut terpolarisasi secara katodik.

Pada gambar 2.20 menjelaskan bahwa  $E_{o,M}$  dan  $E_{o,H}$  adalah open sirkuit potensial untuk logam dan hidrogen. Kemudian nilai  $i_{o,H}$  dan  $i_{o,M}$  adalah perubahan kerapatan arus dan  $i_L$  adalah kerapatan arus terbatas. Untuk elektroda yang *reversible*, Evans diagram dapat digunakan untuk menentukan titik korosi dimana garis antara katodik hidrogen dan anodik logam berpotongan. Disisi lain, perilaku elektrokimia yang tidak *reversible* ditunjukkan oleh katodik dan anodik dari Stern Diagram yang juga digunakan untuk menentukan titik korosi dengan ekstrapolasi sisi linear kedua kurva hingga berpotongan.



**Gambar 2.17** Skema Kurva Polarisasi yang Menunjukkan Ekstrapolasi Tafel (Threteway, 1991)



**Gambar 2.18** Prinsip Kerja Potensiostat (Autolab, 2011)

Berikut adalah persamaan yang akan digunakan dalam menentukan laju korosi dan laju kehilangan massa.

$$B = \frac{b_a \cdot b_c}{2,303 (b_a + b_c)} \quad (2.42)$$





dimana:

$B$  = Stern-Geary constant (V)

$b_a$  = slope of anodic Tafel reaction (V/decade)

$b_c$  = slope of cathodic Tafel reaction (V/decade)

Setelah dilakukan perhitungan  $i_{cor}$  dengan persamaan dibawah ini.

$$i_{cor} = \frac{B}{R_p} \quad (2.43)$$

dimana:

$i_{cor}$  = corrosion current density ( $\mu A/cm^2$ )

$R_p$  = polarization resistance ( $\Omega cm^2$ )

Kemudian dilakukan perhitungan *corrosion rate* dengan persamaan berikut.

$$CR = K_1 \frac{i_{cor}}{\rho} EW \quad (2.44)$$

dimana:

$CR$  = corrosion rate (mpy)

$K_1 = 0,1288$  (mpy g/  $\mu A cm$ )

$\rho$  = densitas logam ( $g/cm^3$ )

$EW$  = equivalent weight (g/mol)

Setelah nilai *corrosion rate* diperoleh, maka mencari nilai *mass loss rate* dengan persamaan berikut ini.

$$MR = K_2 \cdot i_{cor} \cdot EW \quad (2.45)$$

dimana:

$MR$  = mass loss rate ( $g/m^2 d$ )

$K_2 = 8,954 \times 10^{-3}$  ( $g cm^2/\mu A m^2 d$ )

## 2.6 Penelitian Sebelumnya

1. Herlani, Ratmi, dkk. 2008. Pengaruh Laju Korosi Pada Baja Stainless Steel 304 Pipa Pendingin Reaktor di Dalam Lingkungan Air dan Asam Nitrat.



Dalam penelitian ini dilakukan penelitian laju korosi pada AISI 304 dalam media air bebas mineral dan air tangki reaktor dengan konsentrasi  $\text{HNO}_3$  divariasi dari 0,001M-0,08M. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji korosi dengan potensiostat. Hasil pengujian ini didapatkan kondisi lingkungan asam baik dalam ABM maupun ATR optimum pada konsentrasi 0,001M dengan laju korosi untuk ABM sebesar 33,05 mpy dan untuk ATR sebesar 0,62 mpy. lingkungan asam nitrat optimum memberikan laju korosi SS 304 yang relatif baik dan memenuhi syarat sebagai pipa pendingin reaktor.

2. Iliyasu, D.S Yawas, S.Y Aku. 2012. *Corrosion Behavior of Austenitic Stainless Steel in Sulphuric Acid at Various Concentration*.

Dalam penelitian ini spesimen yang digunakan adalah AISI 304 yang diekspose pada asam sulfat (0,3M sampai 1M) dengan temperatur yang berbeda. Metode yang digunakan yaitu metode *weight loss* dan CERT (*constant Extension Rate Tensile Test*) hasil penelitian ini didapatkan bahwa persen elongasi dan reduksi dalam area *cross sectional* menurun dengan bertambahnya konsentrasi dan waktu ekspos menunjukkan bahwa AISI 304 mengalami *stress corrosion cracking* pada lingkungan kaya hidrogen sulfida. Dan dengan bertambahnya waktu ekspos laju korosi menurun yang disebabkan oleh tidak ada kontak langsung antara permukaan logam dan ion korosif karena adanya produk korosi. Temperatur juga mempengaruhi laju korosi baja, semakin tinggi temperatur maka laju korosi semakin naik.



3. Anees A. Khadom, Aptael S. Yaro, dkk. 2009. *The Effect of Temperature and Acid Concentration on Corrosion of Low Carbon Steel in Hydrochloric Acid Media*.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan temperatur dan konsentrasi asam pada korosi baja karbon rendah dalam asam klorida. Pengaruh temperatur dijelaskan dengan aplikasi dari persamaan dan teori transisi statis, sedangkan pengaruh konsentrasi asam dijelaskan menggunakan persamaan reaksi kinetik. Kombinasi pengaruh konsentrasi asam dan temperatur kemudian dimodelkan menggunakan metode regresi non linear. Laju korosi non linear sebagai fungsi dari temperatur dan persamaan konsentrasi asam diestimasi dengan prediksi nilai laju korosi. Nilai dari energi aktivasi dan enthalpi aktivasi menurun dengan kenaikan konsentrasi asam, ini mengindikasikan adanya kenaikan laju korosi. Entropy aktivasi cenderung menurun dengan pertambahan konsentrasi asam yang disebabkan karena aktivasi kompleks lebih tertata saat kondisi awal.

4. Osarolube, E., Owate, I.O dan Oforka N.C. 2008. *Corrosion Behavior of mild and high carbon steels in various acidic media*.

Penelitian ini mengenai perilaku korosi baja lunak dan baja karbon tinggi dalam berbagai konsentrasi dari asam nitrat ( $\text{HNO}_3$ ), asam klorida ( $\text{HCl}$ ), dan asam perklorat ( $\text{HClO}_4$ ). Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu spesimen diekspose pada media asam selama  $t$  hari kemudian dihitung laju korosi menggunakan metode pengurangan berat. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa lingkungan asam nitrat merupakan lingkungan paling korosif untuk kedua baja tersebut hal ini dikarenakan reaksi oksidasi alami. Kemudian lingkungan yang korosif selanjutnya adalah asam perklorat, dan yang paling lemah korosifitasnya adalah media asam klorida.





Konsentrasi media asam dan waktu perndaman mempengaruhi laju korosi logam. Laju disolusi logam meningkat dengan bertambahnya konsentrasi media korosi dan waktu perendaman. Laju korosi baja lunak pada semua media lebih tinggi daripada laju korosi baja karbon tinggi hal ini disebabkan karena adanya kandungan karbon yang lebih besar pada baja karbon tinggi dibandingkan dengan pada baja lunak. Unsur karbon ini memiliki sedikit pengaruh terhadap ketahanan korosi merata pada baja.

5. R.T. Loto. 2013. *Pitting Corrosion evaluation of Austnitic Stainless Steel type 304 in acid chloride media*. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari ketahanan korosi baja tahan karat austenitik tipe 304 dalam larutan asam sulfat (2M dan 5M) dengan dan tanpa natrium klorida dengan teknik polarisasi linear. Potensial pitting dan pasivasi, laju korosi dan masa jenis dianalisa dengan memperhatikan konsentrasi ion klorida. Di bawah anodik polarisasi baja tahan karat dalam larutan asam sulfat mengalami keadaan pasif, daerah pasif ini berkurang seiring dengan penambahan natrium klorida, karena ion klorida meningkatkan kerapatan arus pada potensial yang lebih rendah dari nilai pitting potensial di media asam. Hal ini disebakan karena kerusakan yang cepat pada lapisan pasif dan pengembangan lubang lokal oleh ion klorida. Hasil yang diperoleh membangun hubungan yang dinamis dan interaksi antara sulfat / konsentrasi ion klorida dan potensi elektrokimia dalam perilaku korosi dari paduan besi pada temperatur kamar.
6. Noor, Ehteraam A. Al-Moubaraki Aisha H. 2008. *Corrosion Behavior of Mild Steel in Hydrochloric Acid Solutions*. International Journal of Electrochemical Science.



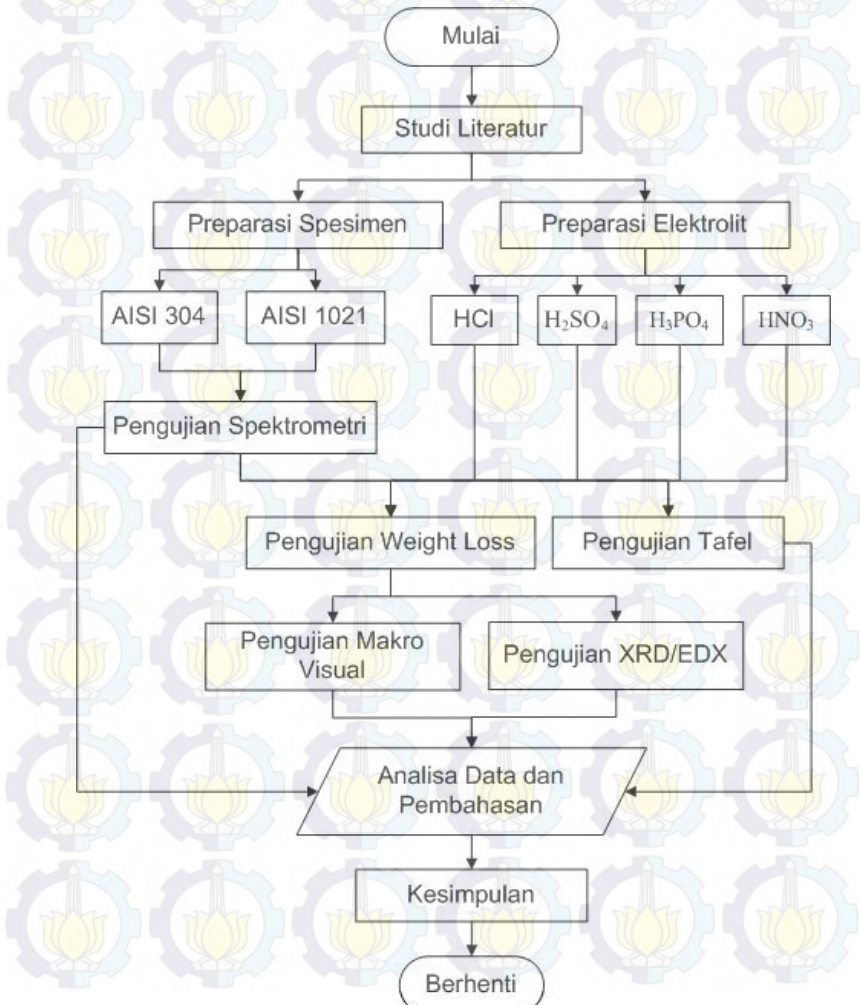
Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa perilaku korosi dan mekanisme baja lunak dalam media asam klorida. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu hydrogen Evolution, Mass Loss, EIS, dan polarisasi potensiostatik. Hasil kimia mengungkapkan bahwa baja lunak korosi dalam larutan HCl dengan konstanta reaksi 0,56 dan laju korosi meningkat dengan bertambahnya konsentrasi asam. Pengamatan mikrostruktur untuk baja setelah perendaman dalam larutan HCl dengan konsentrasi yang berbeda menunjukkan adanya korosi merata dan sumuran, dengan bertambahnya konsentrasi HCl maka korosi sumuran semakin terlihat. Selain itu, ditemukan bahwa  $R_{ct}$  (charge transfer resistance) menurun ketika  $C_{dl}$  (double layer capacitance) dan  $i_{corr}$  naik dengan kenaikan konsentrasi HCl. Hasil polarisasi potensiostatik menunjukkan bahwa pelarutan baja merupakan reaksi anodik. Mekanisme perhitungan untuk rasio  $Z/vs$  dari data polarisasi potensiostatik menunjukkan bahwa pembubaran baja ringan terjadi melalui mekanisme tahapan.





## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Diagram Alir Penelitian



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian



### 3.2 Alat-alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain :

1. Gelas beaker Pyrex 1 L
2. Gelas ukur Pyrex
3. Spatula
4. Mesin potong
5. Mesin Bor
6. Kayu
7. Chamber plastik
8. pH meter
9. Benang bol
10. Kertas amplas (80,100, 150, 240, 360, 400, 500, 600, 800, 1000)
11. Penggaris
12. Timbangan Digital Toledo Metler
13. Kamera
14. Mesin uji spektrometri
15. Mesin uji polarisasi linear
16. Mesin uji XRD
17. Stereo Mikroskop

### 3.3 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Material yang digunakan dalam penelitian ini merupakan baja AISI 304 dan AISI 1021. Komposisi kimia dari kedua material tersebut antara lain:

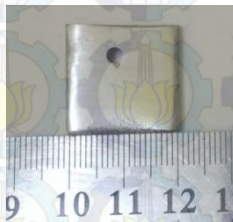
**Tabel 3.1** Komposisi Kimia AISI 304

Komponen	Persentase (%)
C	
Cr	17,5
Fe	66.345 – 74
Mn	Max 2
Ni	8 - 10.5
P	Max 0.045
S	Max 0.03
Si	Max 1

**Tabel 3.2** Komposisi Kimia AISI 1021

Komponen	Persentase (%)
C	0.18 - 0.230
Fe	99.08 – 99.53
Mn	0.60 – 0.90
P	≤ 0.035
S	≤ 0.040

Spesimen tersebut didesain sesuai dengan jenis pengujiannya. Untuk pengujian *weight loss* dimensi spesimen 20 mm x 20 mm x 3 mm. Sedangkan untuk uji polarisasi linear dimensi spesimen 20 mm x 10 mm x 3 mm.

**Gambar 3.2** Spesimen Uji

## 2. Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan adalah HCl,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  yang memiliki variasi konsentrasi 0,1M ; 0,5M; dan 1M

**Gambar 3.3** Larutan Elektrolit





### 3. Aquades

Aquades atau air suling digunakan untuk mengencerkan larutan elektrolit sehingga didapatkan variasi konsentrasi larutan elektrolit

## 3.4 Prosedur Penelitian

### 3.4.1 Preparasi spesimen

Semua spesimen yang digunakan dalam penelitian ini dipotong berbentuk balok dengan ukuran 20mm x 20mm x 3mm. Kemudian dibor dengan diameter 3 mm.

### 3.4.2 Preparasi larutan elektrolit

Pada penelitian ini larutan elektrolit yang digunakan adalah larutan elektrolit HCl 37%,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98%,  $\text{HNO}_3$  69% dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  85%. kemudian diencerkan menjadi berbagai variasi konsentrasi. Berikut adalah langkah-langkah pembuatan larutan elektrolit dengan berbagai konsentrasi:

#### a. larutan HCl

- Menyiapkan larutan HCl 37% sebanyak 8,22 ml; 41,1 ml; dan 82,2 ml untuk membuat satu liter larutan HCl 0,1M; 0,5M; dan 1M.
- Melarutkan HCl ke dalam labu ukur dengan menambahkan aquades hingga 1000 ml, sehingga diperoleh konsentrasi HCl dengan konsentrasi 0,1M; 0,5M; dan 1M.
- Agar larutan tercampur secara homogen, maka menuang larutan tersebut ke dalam wadah kemudian diaduk menggunakan spatula.
- Setelah HCl terlarut sempurna, larutan siap digunakan untuk pengujian selanjutnya.

#### b. larutan $\text{H}_2\text{SO}_4$

- Menyiapkan larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98% sebanyak 5,439 ml; 27,195 ml; dan 54,39 ml untuk membuat satu liter larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1M; 0,5M; dan 1M



- Melarutkan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ke dalam labu ukur dengan menambahkan aquades hingga 1000 ml, sehingga diperoleh konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan konsentrasi 0,1M; 0,5M; dan 1M.
- Agar larutan tercampur secara homogen, maka menuang larutan tersebut ke dalam wadah kemudian diaduk menggunakan spatula.
- Setelah  $\text{H}_2\text{SO}_4$  terlarut sempurna, larutan siap digunakan untuk pengujian selanjutnya.

c. Larutan  $\text{HNO}_3$

- Menyiapkan larutan  $\text{HNO}_3$  69% sebanyak 6,127 ml; 30,63 ml; dan 61,27 ml untuk membuat satu liter larutan  $\text{HNO}_3$  0,1M; 0,5M; dan 1M.
- Melarutkan  $\text{HNO}_3$  ke dalam labu ukur dengan menambahkan aquades hingga 1000 ml, sehingga diperoleh konsentrasi  $\text{HNO}_3$  dengan konsentrasi 0,1M; 0,5M; dan 1M.
- Agar larutan tercampur secara homogen, maka menuang larutan tersebut ke dalam wadah kemudian diaduk menggunakan spatula.
- Setelah  $\text{HNO}_3$  terlarut sempurna, larutan siap digunakan untuk pengujian selanjutnya.

d. Larutan  $\text{H}_3\text{PO}_4$

- Menyiapkan larutan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  85% sebanyak 6,84 ml; 34,223 ml; dan 68,45 ml untuk membuat satu liter larutan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0,1M; 0,5M; dan 1M.
- Melarutkan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ke dalam labu ukur dengan menambahkan aquades hingga 1000 ml, sehingga diperoleh konsentrasi  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dengan konsentrasi 0,1M; 0,5M; dan 1M.
- Agar larutan tercampur secara homogen, maka menuang larutan tersebut ke dalam wadah kemudian diaduk menggunakan spatula.



- Setelah  $\text{H}_3\text{PO}_4$  terlarut sempurna, larutan siap digunakan untuk pengujian selanjutnya.

### 3.4.3 Preparasi pengujian

Pemotongan spesimen uji dilakukan untuk mendapatkan bagian plat dengan ukuran yang lebih kecil sesuai dengan kebutuhan masing-masing pengujian pada proses penelitian. Proses pemotongan ini dilakukan dengan menggunakan mesin potong.

#### a. Pengujian Spektrometri

Pengujian spektrometri bertujuan untuk mengetahui persentase komposisi kimia yang terkandung dalam spesimen uji. Pada penelitian ini pengujian spektrometri dilakukan di laboratorium PT. Barata Indonesia – Gresik. *Optical Emission Spectrometer* adalah salah satu teknik spektroskopi yang meneliti panjang gelombang foton yang dipancarkan oleh atom atau molekul selama transisi dari keadaan tereksitasi ke keadaan energi yang lebih rendah. Setiap elemen memancarkan karakteristik panjang gelombangnya tersendiri sesuai dengan struktur elektronnya. Dengan mengamati panjang gelombang tersebut, komposisi unsur dari sebuah material dapat ditentukan. Adapun prosedur pengujian spektrometri adalah :

1. Tahap preparasi benda uji
  - Meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan gerinda perata jika permukaan belum rata.
2. Tahap pengujian
  - Memasang benda uji pada ruang penembakan
3. Tahap pengambilan data

#### b. Pengujian *Weight loss*

Uji *weight loss* atau metode pengurangan berat adalah sebuah pengujian yang dilakukan untuk





mengetahui laju korosi (mpy) suatu benda kerja dengan menggunakan cara menimbang berat awal dan berat akhir setelah dilakukan pengujian *weight loss* ini. Pengujian *weight loss* ini dilakukan dengan mencelupkan benda kerja kedalam larutan atau lingkungan dengan konsentrasi elektrolit yang berbeda. Variasi konsentrasi larutan HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> yang digunakan adalah 0,1M, 0,5M, dan 1M. Langkah-langkah pengujian *weight loss* dapat dijelaskan sebagai berikut yang mengacu pada standar ASTM (*American Standard and Testing Material*) G-31 “Laboratory Corrosion Testing of Metals:”

1. Berat awal masing-masing spesimen ditimbang.
2. Mengukur dimensi spesimen
3. Mengikat spesimen dengan benang bol dan mengikatkan pada stick kayu yang telah terpasang pada botol plastik tempat larutan elektrolit.
4. Merendam spesimen kedalam larutan elektrolit yang terdapat pada botol plastik yang berisi larutan elektrolit dengan masing-masing ketentuan konsentrasi.
5. Mengambil spesimen pada jam ke-24, setelah itu dibersihkan dari produk korosi sengan metode *mechanical* dengan *brush*, lalu dikeringkan dan kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat akhir spesimen
6. Melakukan hal yang sama pada langkah (4) pada pengambilan spesimen jam ke-48, dan ke-72 untuk baja karbon rendah. Sedangkan untuk stainless steel pengambilan data dilakukan setiap 7 hari sekali selama 28 hari.



**Gambar 3.4** Pengujian *Weight Loss*

**c. Pengujian Polarisasi Linear (Tafel)**

Pada prinsipnya polarisasi adalah suatu instrumen yang digunakan untuk mengatur beda potensial antara spesimen (elektroda kerja) dengan elektroda acuan (*reference electrode*) dan menggunakan variabel arus antara elektroda kerja dengan elektroda bantu (*auxiliary electrode*). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui laju korosi material pada larutan elektrolit HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dengan konsentrasi 1M. Pengujian Polarisasi Linear ini dilakukan dengan menggunakan AUTOLAB PGSTAT di Laboratorium Elektrokimia-Korosi Jurusan Teknik Kimia FTI-ITS.

Pada dasarnya, peralatan pengujian polarisasi Linear memiliki tiga komponen penting, yaitu :

**a. Elektroda Kerja**

Yaitu spesimen baja AISI 304 dan AISI 1021 yang telah dibentuk dengan cara dipotong menjadi dimensi yang telah ditentukan.

**b. Elektroda Bantu**

Elektroda yang dipakai berupa lembaran platina dengan ukuran kurang lebih 2cm x 3cm. Fungsi dari elektroda ini adalah untuk menghantarkan arus ke elektroda kerja.



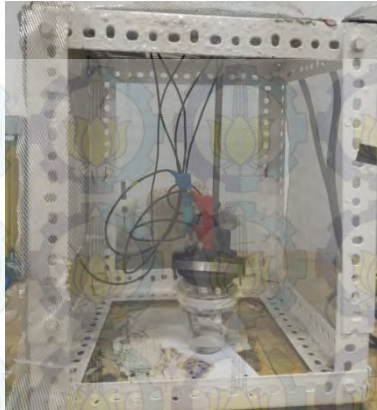
c. Elektroda Acuan

Elektroda acuan digunakan sebagai titik acuan dan juga sebagai pembanding dalam pengukuran-pengukuran potensial elektroda kerja. Pada pengujian ini elektroda acuan yang digunakan adalah elektroda acuan Ag/AgCl.

Adapun preparasi yang dilakukan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Tahap preparasi benda uji
  - Mempersiapkan alat dan bahan yaitu spesimen yang baja AISI 304 dan AISI 1021 dengan dimensi 20 mm x 20 mm x 3mm dan larutan elektrolit HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dengan konsentrasi 1M.
  - Spesimen yang telah dipotong sesuai ukuran kemudian diampas diseluruh permukaannya. Pengamplasan dilakukan mulai dari grade 80, 180, 240, 320, 400, 600, 800 dan terakhir grade 1000 untuk mendapatkan permukaan yang halus dan rata.
2. Tahap pengujian
  - Memasukkan larutan elektrolit kedalam gelas sebanyak 150 ml.
  - Memasang elektroda kerja pada rangkaian alat polarisasi.
  - Menjalankan pengujian polarisasi dengan bantuan software AUTOLAB PGSTAT
3. Tahap pengambilan data





**Gambar 3.5** Alat Pengujian Polarisasi Linear

#### **d. Pengujian Makro Visual**

Pengujian makro visual ini dilakukan untuk mengetahui morfologi permukaan spesimen yang telah direndam dalam larutan elektrolit, sehingga diketahui bentuk korosi yang terjadi pada spesimen. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS dengan menggunakan *Stereo Microscope* Carl Zeiss Stemi DV4. Adapun prosedur pengujian makro visual ini adalah :

1. Tahap preparasi benda uji
  - Menyiapkan spesimen uji yang telah direndam dalam larutan elektrolit
2. Tahap pengujian
  - Meletakkan benda uji di atas holder mikroskop stereo untuk memulai pengamatan.
  - Mengatur perbesaran hingga mendapatkan resolusi gambar yang jelas.
3. Tahap pengambilan data
  - Mengambil gambar morfologi permukaan masing-masing benda uji.



- Mengukur besar diameter dan kedalaman dari pitting.
- Membandingkan hasil morfologi semua benda uji.



**Gambar 3.6** *Stereo Microscope Carl Zeiss Stemi DV4*

**e. Pengujian XRD**

XRD digunakan untuk identifikasi senyawa atau unsur (analisis kualitatif) dan penentuan komposisi kimia (analisis kuantitatif). Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui produk korosi yang terbentuk pada masing-masing benda uji. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji *X-Ray Diffraction* dengan merk PANALYTICAL yang terdapat pada Laboratorium Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

Adapun tahapan melakukan uji XRD sebagai berikut :

1. Tahap preparasi spesimen
  - Menyiapan spesimen uji yang telah direndam dalam larutan elektrolit.
2. Tahap pengujian



- Spesimen diletakkan pada holder agar penembakan XRD sesuai yang diinginkan
  - Holder diletakkan ke dalam mesin uji XRD, setting pengukuran sudut dilakukan dengan rentang 5-90°C. Tembak spesimen dengan sinar X
  - Data tampil pada komputer berupa grafik horizontal dengan puncak-puncak grafik pada sudut tertentu
3. Tahap pengambilan data
- Pengolahan data sehingga diperoleh hasil senyawanya.



**Gambar 3.7** Mesin Uji *X-Ray Diffraction* PANalytical

**f. Pengujian EDX**

Pengujian EDX digunakan untuk mengetahui unsur yang terdapat pada permukaan baja AISI 1021 dalam media  $\text{HNO}_3$ , pengujian ini dilakukan untuk membuktikan bahwa baja AISI 1021 bereaksi dengan elektrolit  $\text{HNO}_3$  membentuk lapisan. Pengujian ini dilakukan menggunakan alat uji SEM/EDAX merk INSPECT S50 yang terdapat pada Laboratorium





Karakterisasi Material Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

Adapun Tahapan melakukan uji EDX sebagai berikut:

1. Tahap preparasi spesimen
  - Menyiapkan spesimen uji yang telah direndam dalam larutan elektrolit.
2. Tahap pengujian
  - Spesimen diletakkan pada holder agar penembakan EDX sesuai yang diinginkan
  - Melakukan scanning pada spesimen sehingga didapatkan unsur yang terdapat pada permukaan spesimen
  - Data tampil pada komputer berupa gambar dan grafik yang menyatakan unsur
3. Pengambilan data

### 3.5 RANCANGAN PENELITIAN

Untuk memudahkan penelitian selama percobaan disusun rancangan percobaan yang dilakukan berupa tabel. Berikut tabel rancangan penelitian yang dilakukan.

**Tabel 3.3** Tabel Rancangan Penelitian

BAHAN	PENGUJIAN				
	OES	Weight Loss	Tafel	Makro Visual	XRD
AISI 1021	√	√	√	√	√
AISI 304	√	√	√	√	-



*halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil

Dari penelitian yang telah dilaksanakan, maka didapatkan sejumlah data berupa foto, Gambar, dan data numerik yang meliputi nilai komposisi material, laju korosi material, grafik hasil pengujian potensiodinamik, foto morfologi permukaan spesimen yang telah terkorosi, dan grafik pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD).

#### 4.1.1 Hasil Pengujian Spektrometri

Komposisi unsur seluruh sampel dideteksi menggunakan instrument *Optical Emission Spectrometer* (OES). Dengan hasil pada Tabel 4.1 sebagai berikut :

**Tabel 4. 1** Komposisi Material Hasil *Pengujian Optical Emission Spectrometer* (OES)

Komposisi (%)	ASTM A830	Sampel Uji Baja Karbon	ASTM A240	Sampel Uji Stainless Steel
C	0,18 - 0,23	0,201	Max 0,08	0,0367
Si	-	0,0120	Max 0,75	0,430
Mn	0,3 – 0,6	0,834	Max 2,00	1,86
P	Max 0,035	0,0107	Max 0,045	0,0421
S	Max 0,04	0,0059	Max 0,030	0,0037
Cr	-	0,0241	17 – 20	17,5
Mo	-	0,0037	-	0,187
Ni	-	0,0185	8 - 10,5	8,06
Al	-	0,0311	Max 0,063	0,0034
Co	-	0,0037	-	0,160
Cu	-	0,0474	-	0,356
Nb	-	0,0043	-	0,0247





Komposisi (%)	ASTM A830	Sampel Uji Baja Karbon	ASTM A240	Sampel Uji Stainless Steel
Ti	-	0,0127	-	0,0030
V	-	< 0,001	-	0,00793
W	-	0,0113	-	0,0316
Pb	-	< 0,0025	-	< 0,0025
Sn	-	0,0041	-	0,0065
B	-	< 0,0003	-	0,0003
Ca	-	0,0001	-	-
Zr	-	< 0,0015	-	-
Bi	-	0,0151	-	-
As	-	0,0038	-	-
N	-	0,059	Max 0,10	-

Dari Tabel 4.1 di atas dapat diketahui bahwa sampel uji baja karbon memiliki kadar karbon sebesar 0,201% , kandungan mangan sebesar 0,834% , fosfor sebesar 0,0107 % , dan kandungan Sulfur sebesar 0,0059%. Sedangkan untuk spesimen *Stainless Steel* didapatkan kandungan karbon sebesar 0,0367%, kromium sebesar 17,5% dan kandungan Nikel sebesar 8,06%. Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa komposisi unsur spesimen uji baja karbon telah sesuai dengan standar yang terdapat pada ASTM A830 untuk tipe 1021, untuk spesimen uji *stainless steel* telah sesuai dengan ASTM A240 untuk tipe 304. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua material tersebut telah memenuhi standar yang terdapat pada masing-masing ASTM baik itu *carbon steel* maupun *stainless steel*.

#### 4.1.2 Pengujian Weight Loss

Pengujian *weight loss* merupakan pengujian yang dilakukan untuk mempelajari laju korosi baja karbon maupun baja tahan karat dalam berbagai media asam. Pengujian ini menggunakan metode kehilangan berat, dimana berat awal dari masing-masing



logam AISI 1021 maupun AISI 304 ditimbang terlebih dahulu kemudian dilakukan perendaman (*immersion*) ke dalam larutan HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dengan variasi konsentrasi yang berbeda. Pengambilan data dilakukan dalam waktu perendaman 7x24 jam untuk AISI 1021 sedangkan untuk AISI 304 pengambilan data dilakukan setiap hari ke- 7, 14, 21, dan ke-28 dengan melakukan penimbangan berat akhir spesimen. Prosedur pengujian *weight loss* ini berdasarkan standar ASTM G31-72.

#### 4.1.2.1 Hasil Pengujian *Weight Loss* AISI 1021

Pada pengujian *weight loss* AISI 1021 dengan waktu perendaman selama 7 x 24 jam, maka diperoleh laju korosi yang ditunjukkan pada Tabel 4.2. Berdasarkan Tabel tersebut, dapat diketahui bahwa AISI 1021 pada media HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, dan HCl memiliki trend laju korosi yang berbeda-beda terhadap variasi konsentrasi dan waktu perendaman.

**Tabel 4.2** Laju Korosi AISI 1021 pada Berbagai Media Asam

Konsentrasi (M)	waktu ekspose (jam)	Laju korosi rata-rata (mpy)			
		HCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
0,1	24	167,93	369,46	897,20	954,38
	48	196,36	466,65	529,61	746,23
	72	211,54	678,29	389,71	568,82
	96	292,60	767,47	305,65	448,14
	120	255,44	880,80	263,70	352,73
	144	283,27	1092,44	251,16	314,84
	168	204,74	1049,01	226,93	277,30
0,5	24	151,64	530,94	3921,84	795,85
	48	228,16	616,91	2235,35	909,44
	72	241,27	946,84	1373,05	1006,95
	96	251,48	1257,59	1149,20	1018,39



Konsentrasi (M)	waktu ekspose (jam)	Laju korosi rata-rata (mpy)			
		HCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HNO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
	120	265,11	1197,31	957,73	1033,07
	144	302,66	1888,58	820,93	1040,16
	168	437,51	1873,11	745,01	962,68
1	24	325,01	645,70	8614,35	684,40
	48	355,00	1241,11	5148,52	804,56
	72	435,52	1360,98	3662,66	1021,28
	96	437,91	1641,54	2404,22	1059,81
	120	376,38	1820,70	2060,61	1095,00
	144	473,65	2139,73	1833,01	1169,45
	168	527,54	1816,51	1377,84	1152,10

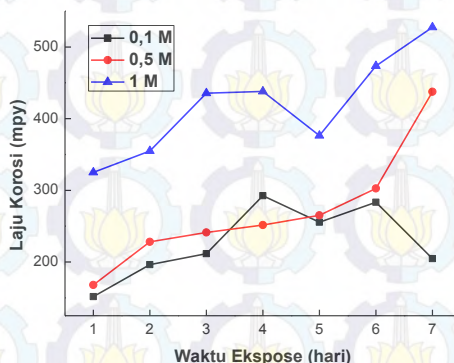
Hasil uji weight loss pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa laju korosi AISI 1021 tertinggi pada media HNO<sub>3</sub>, diikuti oleh H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, dan yang terkecil pada media HCl. Laju korosi AISI 1021 pada media HNO<sub>3</sub> terjadi pada konsentrasi 1M dengan waktu perendaman 24 jam yakni sebesar 8614,35 mpy. Untuk media H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> laju korosi tertinggi pada konsentrasi 1M dengan waktu perendaman 144 jam sebesar 2139,73 mpy. Pada media H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> laju korosi tertinggi yaitu sebesar 1169,45 mpy terjadi pada konsentrasi 1M dengan waktu perendaman 144 jam. Sedangkan untuk media HCl laju korosi tertinggi pada konsentrasi 0,5M dengan waktu perendaman 144 jam yakni sebesar 527,35 mpy. laju korosi AISI 1021 pada berbagai media mencapai puncak ketika waktu perendaman 144 jam kecuali pada media HNO<sub>3</sub>. Dari Tabel diatas juga diketahui bahwa laju korosi tertinggi baja AISI 1021 pada konsentrasi larutan 0,1M yaitu sebesar 1092,44 mpy terjadi pada media H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dengan waktu perendaman 144 jam. pada konsentrasi 0,5M laju korosi tertinggi yaitu sebesar 3921,84 mpy terjadi pada media HNO<sub>3</sub> dengan waktu perendaman 24 jam, untuk konsentrasi 1M laju tertinggi





sebesar 8614,35 mpy terjadi pada media  $\text{HNO}_3$  dengan waktu perendaman 24 jam.

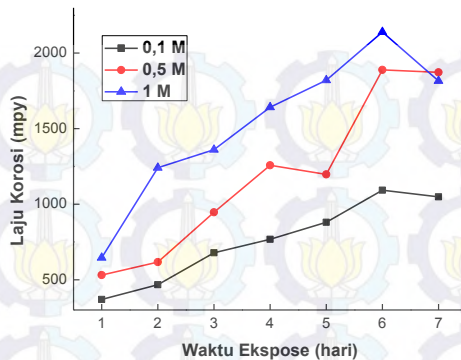
Dari hasil Tabel 4.2 kemudian dibuat grafik laju korosi AISI 1021 pada setiap konsentrasi asam terhadap waktu perendaman sebagai berikut:



**Gambar 4.1** Laju Korosi AISI 1021 dalam media HCl

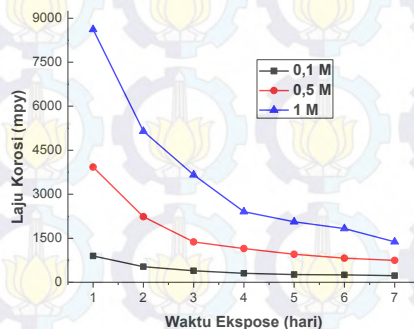
Gambar 4.1 menunjukkan bahwa laju korosi AISI 1021 dalam larutan HCl pada semua konsentrasi mengalami kenaikan dengan bertambahnya waktu perendaman meskipun pada perendaman tertentu terdapat penurunan laju korosi namun kemudian laju korosinya mengalami kenaikan lagi.

Untuk laju korosi AISI 1021 dalam larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  seperti yang terlihat pada Gambar 4.2 dapat dikatakan bahwa secara general laju korosi mengalami kenaikan dengan bertambahnya waktu perendaman meskipun pada beberapa waktu perendaman terjadi penurunan yang tidak signifikan. Dan seiring dengan kenaikan konsentrasi larutan, laju korosi semakin meningkat. Namun, pada semua konsentrasi terjadi penurunan laju korosi pada waktu perendaman 168 jam.



**Gambar 4.2** Laju Korosi AISI 1021 pada larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Laju korosi AISI 1021 dalam media  $\text{HNO}_3$  yang ditunjukkan oleh gambar 4.3 memiliki laju korosi tertinggi pada hari pertama perendaman untuk semua konsentrasi larutan, kemudian dengan bertambahnya waktu perendaman laju korosi semakin menurun. Penurunan laju korosi paling signifikan terjadi pada waktu perendaman 48 jam baik itu untuk konsentrasi 0,1M, 0,5M, dan 1M, penurunan nilai laju korosi tersebut yaitu secara berturut-turut sebesar 367,59 mpy, 1686,49 mpy, dan 3465,83 mpy. Gambar 4.3 ini juga menunjukkan bahwa kenaikan konsentrasi  $\text{HNO}_3$  berbanding lurus dengan kenaikan laju korosi.

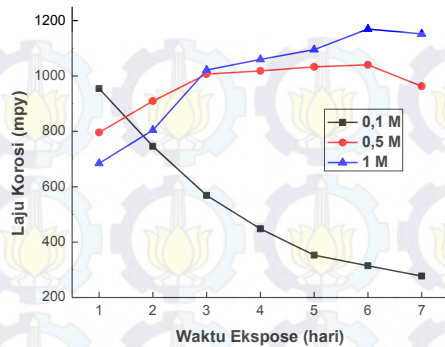


**Gambar 4.3** Laju Korosi AISI 1021 pada  $\text{HNO}_3$



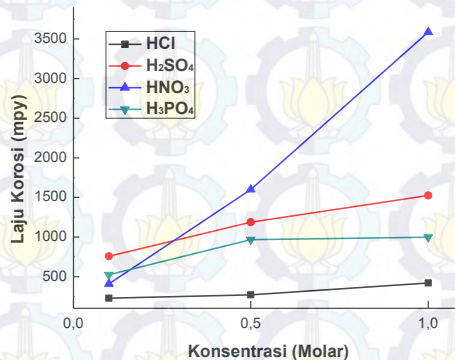
Sedangkan untuk laju korosi AISI 1021 dalam media  $\text{H}_3\text{PO}_4$  yang ditunjukkan oleh Gambar 4.4 terlihat bahwa laju korosi tertinggi pada hari pertama perendaman terjadi pada konsentrasi 0,1 M; 0,5M, dan paling rendah pada konsentrasi 1M. Namun, dengan bertambahnya waktu perendaman laju korosi pada konsentrasi 0,1 M semakin menurun sedangkan laju korosi pada 0,5 M dan 1 M tetap naik. Ketika laju korosi pada semua konsentrasi telah mencapai laju korosi tertinggi kemudian terjadi penurunan laju korosi untuk semua konsentrasi. Pada konsentrasi 0,1M laju korosi tertinggi terjadi pada hari perendaman 1, untuk konsentrasi 0,5M dan 1M laju korosi tertinggi pada waktu perendaman 7 hari. Hal ini disebabkan karena  $\text{H}_3\text{PO}_4$  merupakan asam lemah yang memiliki derajat disosiasi kurang dari 1. Menurut Hukum Ostwald tentang pengenceran, derajat disosiasi berbanding terbalik dengan konsentrasi asam lemah dalam elektrolit, semakin menurun konsentrasi asam lemah dalam elektrolit maka derajat disosiasi semakin tinggi (Chang Raymond, 2004). Derajat disosiasi ini mempengaruhi kemampuan asam dalam melepaskan ion hidrogen, semakin rendah derajat disosiasi asam maka kemampuan untuk melepaskan ion hidrogen semakin rendah (Ulfin Ita, 2010). Hal ini menyebabkan asam lemah dengan konsentrasi yang tinggi tidak mudah mengalami reaksi, sehingga pada konsentrasi rendah laju korosi pada baja lebih tinggi daripada konsentrasi yang lebih tinggi. Namun, apabila seluruh ion hidrogen yang terkandung dalam larutan elektrolit telah bereaksi dengan baja maka laju korosi semakin menurun dengan bertambahnya waktu.





**Gambar 4.4** Laju Korosi AISI 1021 pada  $H_3PO_4$

Konsentrasi larutan elektrolit diketahui dapat mempengaruhi laju korosi, dibawah ini merupakan grafik konsentrasi elektrolit terhadap laju korosi baja dalam berbagai media asam.



**Gambar 4.5** Pengaruh Konsentrasi Larutan Elektrolit terhadap Laju Korosi Baja AISI 1021 dalam berbagai Media Asam

Dari gambar diatas, didapatkan bahwa pada semua media asam laju korosi meningkat dengan peningkatan konsentrasi larutan elektrolit. Untuk media HCl dan  $HNO_3$  peningkatan tertinggi yaitu terjadi pada konsentrasi 0,5M menuju ke 1M,



sedangkan untuk media  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  peningkatan tertinggi pada konsentrasi 0,1M menuju ke 0,5M.

#### 4.1.2.2 Hasil Pengujian *Weight Loss* AISI 304

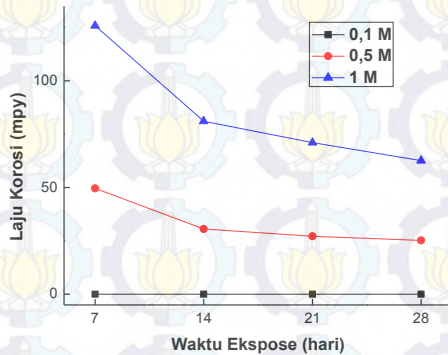
Pengujian *weight loss* AISI 304 yang telah dilakukan dengan pengambilan data pada hari ke-7, 14, 21, dan 28 diperoleh data laju korosi AISI 304 pada media  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ , dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  yang ditunjukkan oleh Tabel 4.3. Tabel tersebut menunjukkan bahwa secara keseluruhan laju korosi baja AISI 304 tertinggi pada media  $\text{HCl}$ , kemudian diikuti  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ , dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . laju korosi baja AISI 304 dalam  $\text{HCl}$  pada konsentrasi 0,5M dan 1M cukup tinggi daripada laju korosi pada media lainnya yaitu sebesar 49,61 mpy dan 125,85 mpy, sedangkan untuk konsentrasi 0,1M laju korosi tertinggi yaitu pada media  $\text{HNO}_3$  dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dengan masing-masing laju korosinya 0,08 mpy.

**Tabel 4.3** Laju Korosi AISI 304 pada Berbagai Media Asam

Konsentrasi (M)	waktu ekspose (jam)	Laju korosi rata-rata (mpy)			
		HCl	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$\text{HNO}_3$	$\text{H}_3\text{PO}_4$
0,1 M	168	0,00	0,00	0,08	0,08
	336	0,00	0,00	0,03	0,02
	504	0,00	0,00	0,03	0,02
	672	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5 M	168	49,61	0,00	0,10	0,11
	336	30,56	0,00	0,04	0,04
	504	27,20	0,00	0,03	0,02
	672	25,19	0,07	0,01	0,01
1 M	168	125,85	0,00	0,16	0,28
	336	81,07	0,00	0,06	0,26
	504	71,03	0,00	0,05	0,09
	672	62,60	3,73	0,03	0,02



Dari Tabel 4.3, kemudian didapatkan grafik yang menggambarkan laju korosi pada setiap konsentrasi media yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6- 4.9.



**Gambar 4.6** Laju Korosi AISI 304 pada HCl

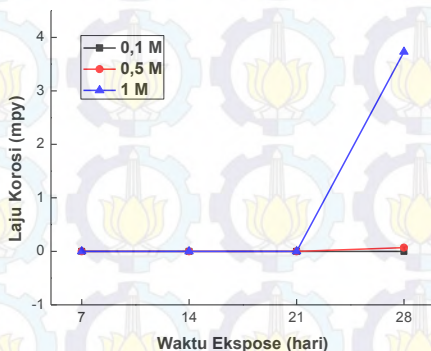
Gambar 4.6 menunjukkan bahwa laju korosi AISI 304 semakin meningkat dengan bertambahnya konsentrasi HCl. Laju korosi tertinggi yaitu pada konsentrasi larutan 1M, diikuti oleh konsentrasi 0,5M. Konsentrasi 0,1M HCl belum mampu mengurangi berat baja AISI 304 sehingga laju korosi pada konsentrasi 0,1M stagnan pada nilai 0 mpy dari hari pertama perendaman sampai hari ke 28 perendaman. Namun, untuk konsentrasi HCl 1M dan 0,5M nilai laju korosi semakin menurun dengan bertambahnya waktu perendaman. Hal ini disebabkan oleh lingkungan yang korosif (klorida yang terkandung dalam HCl) menyerang permukaan logam dan menghasilkan lapisan oksida atau produk korosi. Produk korosi ini kemudian mencegah kontak langsung antara logam dengan media korosif.

Laju korosi AISI 304 dalam larutan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ditunjukkan oleh Gambar 4.7. Gambar tersebut menunjukkan bahwa AISI 304 memiliki ketahanan korosi yang tinggi dalam media  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , pada awal perendaman sampai hari ke 21 semua spesimen AISI 302 dalam semua konsentrasi  $\text{H}_2\text{SO}_4$  tidak mengalami pengurangan



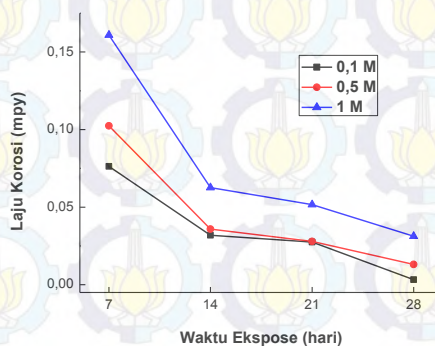


berat sehingga laju korosi AISI 304 stagnan pada 0 mpy. Namun, pada hari ke-28 terdapat pengurangan berat pada konsentrasi 0,5M dan 1M walaupun sangat kecil. Laju korosi tertinggi yaitu sebesar 3,73 mpy terjadi pada konsentrasi 1M dengan waktu perendaman selama 28 hari.



**Gambar 4.7** Laju Korosi AISI 304 pada  $\text{H}_2\text{SO}_4$

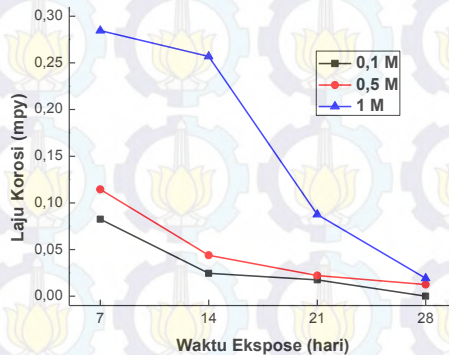
Laju korosi baja AISI 304 dalam media  $\text{HNO}_3$  pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa dengan bertambahnya konsentrasi  $\text{HNO}_3$  laju korosi baja AISI 304 semakin tinggi. Sedangkan dengan bertambahnya waktu perendaman laju korosi baja AISI 304 dalam media  $\text{HNO}_3$  menurun.



**Gambar 4.8** Laju Korosi AISI 304 pada  $\text{HNO}_3$

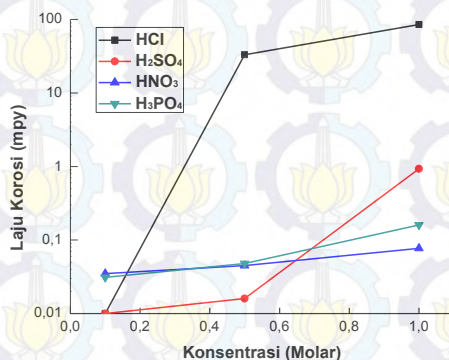


Laju korosi baja AISI 304 dalam media asam fosfat pada Gambar di bawah ini menunjukkan bahwa seperti yang terjadi pada media HCl dan media  $\text{HNO}_3$ , dengan bertambahnya konsentrasi larutan elektrolit maka laju korosi pada baja ini akan semakin meningkat sedangkan seiring dengan bertambahnya waktu perendaman laju korosi baja semakin menurun.



**Gambar 4.9** Laju Korosi AISI 304 pada  $\text{H}_3\text{PO}_4$

Pada baja AISI 304 konsentrasi larutan elektrolit juga mempengaruhi laju korosi baja, berikut merupakan grafik konsentrasi larutan elektrolit terhadap laju korosi:



**Gambar 4.10** Pengaruh Konsentrasi Larutan Elektrolit terhadap Baja AISI 304 dalam berbagai Media Asam



Berdasarkan grafik diatas diketahui bahwa laju korosi naik dengan bertambahnya konsentrasi larutan elektrolit. Hal ini terjadi pada semua media asam. Kenaikan laju korosi bervariasi pada setiap media asam.

#### 4.1.3 Pengujian Polarisasi Linear

Pengujian Tafel Polarisasi menggunakan spesimen AISI 1021 dan AISI 304 dalam lingkungan HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Pengujian *polarisasi linear* ini menggunakan alat Potensiostat Autolab dan software Nova, dengan kecepatan pembacaan titik terhadap potensial sebesar 0,001 V/s. Potensial range yang digunakan adalah -0,25 V sampai dengan +0,25 V. Dari pengujian tersebut, maka dapat diketahui simulasi perilaku sesaat dari *corrosion rate* dan *mass loss rate* yang terjadi pada setiap lingkungan asam.

##### 4.1.3.1 Hasil Pengujian Polarisasi Linear AISI 1021

Dari pengujian ini didapatkan *potential applied* (volt) dan *log current* (ampere) yang menggambarkan grafik nilai arus untuk tiap perubahan potensialnya. Pada pengujian ini, spesimen yang digunakan adalah baja AISI 1021. Kemudian larutan elektrolit yang digunakan adalah HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> dengan konsentrasi masing-masing 1M. Setelah dilakukan pengujian polarisasi linear, yang pertama dilakukan adalah memasukkan data spesimen seperti densitas AISI 1021 sebesar 7,858 g/cm<sup>3</sup>. Dengan menggunakan software AUTOLAB PGSTAT maka didapatkan kurva *potensial applied* (V) terhadap *current* (A). Berikut adalah hasil pengujian polarisasi linear AISI 1021 dalam berbagai media asam.



**Tabel 4.4** Hasil Analisa Tafel AISI 1021 di berbagai media asam

Elektrolit	B (V)	E <sub>corr</sub> (V)	i <sub>corr</sub> (μA/cm <sup>2</sup> )	CR (mpy)	MR (g/m <sup>2</sup> d)
HCl	0,0381	-0,4426	0,0047	0,0021	0,0012
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,1341	-0,4099	0,0399	0,0183	0,0100
HNO <sub>3</sub>	0,0897	-0,3110	0,0702	0,0321	0,0175
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,1144	-0,4660	0,0246	0,0113	0,0062

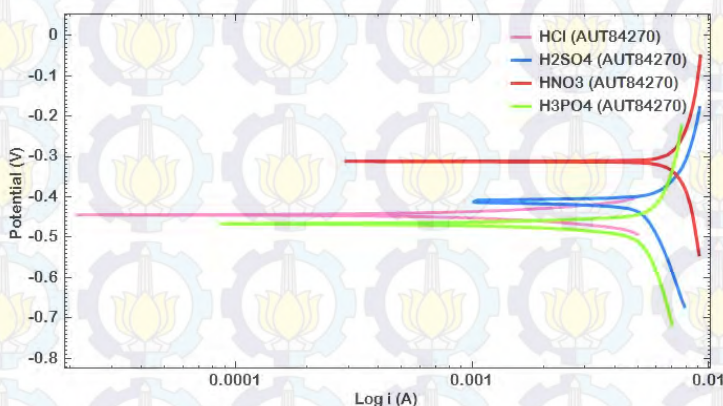
Pada software NOVA bisa didapatkan secara otomatis nilai  $i_{\text{corr}}$  dengan menggunakan tafel fit, dimana dengan menarik dua garis linear pada kedua sisi kurva, sehingga akan di dapatkan perpotongan dari kedua garis linear tersebut, selain itu didapatkan pula nilai  $b_a$  (*slope of the anodic Tafel reaction*,) dan juga  $b_c$  (*slope of the cathodic Tafel reaction*).

Berdasarkan data-data nilai  $b_a$  (*slope of the anodic Tafel reaction*),  $b_c$  (*slope of the cathodic Tafel reaction*), dan tahanan polarisasi yang didapatkan maka dapat diketahui laju korosi dan laju kehilangan masa dengan menggunakan persamaan yang terdapat pada standar ASTM G 102-89 mengenai *calculation of corrosion rates and related information from electrochemical measurements*. Untuk mendapatkan laju korosi, maka perlu mengitung nilai konstanta Stern-Geary dengan persamaan 2.12. Perhitungan konstanta B ini dari slope yang terbentuk pada reaksi katodik dan anodic yang terkontrol. Dari persamaan tersebut didapatkan nilai B untuk AISI 1021 pada media HCl sebesar 0,038108 Volt, dalam media H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebesar 0,134062 Volt, dalam media HNO<sub>3</sub> sebesar 0,0897 Volt, dan untuk media H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> sebesar 0,1144 Volt. Setelah mendapatkan konstanta Stern-Geary selanjutnya dapat mencari laju korosi dan laju kehilangan massa dengan menggunakan persamaan 2.13 hingga persamaan 2.15.

Hasil perhitungan menggunakan persamaan 2.13 hingga 2.15 ditunjukkan oleh Tabel 4.4. nilai  $E_{\text{corr}}$  spesimen AISI 1021 dalam media HCl 1M adalah sebesar -0,4426 V, nilai  $E_{\text{corr}}$  dalam media



$\text{H}_2\text{SO}_4$  dengan konsentrasi larutan 1M adalah sebesar -0,4099 V, untuk nilai  $E_{\text{corr}}$  dalam media  $\text{HNO}_3$  dengan konsentrasi larutan 1M adalah sebesar -0,3110 V, pada media  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dengan konsentrasi 1M nilai  $E_{\text{corr}}$ nya sebesar -0,466 Volt. Sedangkan nilai  $I_{\text{corr}}$  untuk AISI 1021 dalam media  $\text{HCl}$  adalah  $0,00470 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , pada media  $\text{H}_2\text{SO}_4$  nilai  $I_{\text{corr}}$ nya sebesar  $0,03990 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , untuk media  $\text{HNO}_3$  nilai  $I_{\text{corr}}$  sebesar  $0,0702 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ , dan dalam media  $\text{H}_3\text{PO}_4$  nilai  $I_{\text{corr}}$ nya sebesar  $0,0246 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ . Laju korosi baja AISI 1021 dalam media  $\text{HCl}$  sebesar  $0,00215 \text{ mpy}$ , untuk media  $\text{H}_2\text{SO}_4$  laju korosinya sebesar  $0,0183 \text{ mpy}$ , pada media  $\text{HNO}_3$  sebesar  $0,0321 \text{ mpy}$ , dan untuk media  $\text{H}_3\text{PO}_4$  laju korosinya sebesar  $0,0113 \text{ mpy}$ . sedangkan laju kehilangan massa baja AISI 1021 dalam  $\text{HCl}$  yaitu  $0,00112 \text{ g m}^2/\text{d}$ , untuk  $\text{H}_2\text{SO}_4$  sebesar  $0,0100 \text{ g m}^2/\text{d}$ , pada media  $\text{HNO}_3$  sebesar  $0,0175 \text{ g m}^2/\text{d}$ , sedangkan untuk media  $\text{H}_3\text{PO}_4$  laju kehilangan massanya sebesar  $0,0062 \text{ g m}^2/\text{d}$ . Ini menunjukkan bahwa laju korosi tertinggi untuk baja AISI 1021 yaitu pada  $\text{HNO}_3$ , diikuti  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , kemudian  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , dan yang paling kecil laju korosinya pada media  $\text{HCl}$ .



**Gambar 4.11** Kurva Polarisasi Linear E vs Log i Baja AISI 1021 pada Berbagai Media Asam



Gambar 4.11 merupakan kurva polarisasi E vs log i spesimen baja AISI 1021 dengan media HCl,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ , dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Gambar tersebut menunjukkan bahwa kurva polarisasi linear AISI 1021 dalam media  $\text{HNO}_3$  terletak paling ke kanan, kemudian diikuti  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , dan HCl, hal ini berarti  $i_{\text{corr}}$  paling besar yakni pada kurva  $\text{HNO}_3$ , diikuti kurva  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dan HCl, sehingga laju korosi dari yang besar ke laju korosi kecil berturut-turut adalah pada media  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , dan HCl. Kurva polarisasi linear pada media  $\text{HNO}_3$  lebih ke atas daripada yang lain, menunjukkan bahwa reaksi elektrokimia AISI 1021 dalam media  $\text{HNO}_3$  lebih anodik dibandingkan dalam  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , maupun HCl.

#### 4.1.3.2 Hasil Pengujian Polarisasi Linear AISI 304

Pada baja AISI 304 pengujian polarisasi linear juga dilakukan dalam berbagai media asam. Pengujian ini menggunakan prosedur dan alat yang sama dengan yang digunakan pada saat pengujian polarisasi linear AISI 1021. Dari pengujian ini juga didapatkan *potential applied* (volt) dan *log current* (ampere) yang menggambarkan grafik nilai arus untuk tiap perubahan potensialnya.

Dibawah ini adalah Tabel hasil pengujian polarisasi linear AISI 304 dalam berbagai media asam.

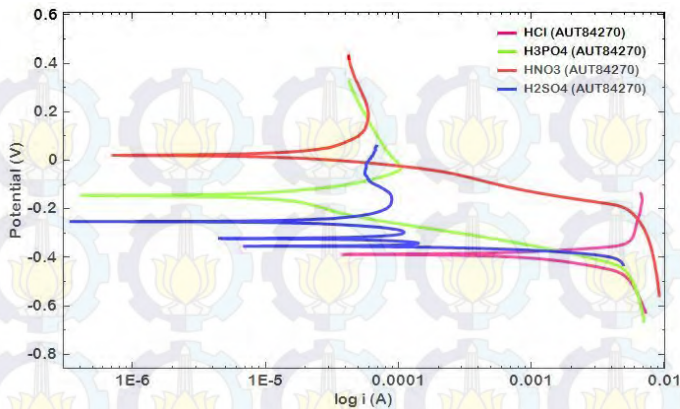
**Tabel 4.5** Hasil Analisa Tafel AISI 304 di berbagai media asam

Elektrolit	B (V)	$E_{\text{corr}}$ (V)	$i_{\text{corr}}$ ( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ )	CR (mpy)	MR ( $\text{g}/\text{m}^2 \text{ d}$ )
HCl	0,0191	-0,3878	0,0015	0,00059	0,00033
$\text{H}_2\text{SO}_4$	0,0361	-0,3504	0,0009	0,00036	0,00020
$\text{HNO}_3$	0,0243	0,0237	0,00003	0,00001	0,00001
$\text{H}_3\text{PO}_4$	0,1560	-0,1415	0,0001	0,00005	0,00003





Dari nilai  $b_a$ ,  $b_c$ , dan tahanan polarisasi yang didapatkan pada saat melakukan tafel fit, maka dapat diketahui konstanta Stem-Geary dengan perhitungan menggunakan persamaan 2.12, nilai konstanta stem-Geary AISI 304 pada media HCl sebesar 0,0191 V, untuk media  $H_2SO_4$  sebesar 0,0361 V, pada media  $HNO_3$  konstanta Steam Geary sebesar 0,0243 V, dan untuk media  $H_3PO_4$  sebesar 0,156 V. Setelah mendapatkan nilai konstanta Stem-Geary dapat diketahui nilai  $i_{corr}$ , *corrosion rate*, dan *mass loss rate* dengan menggunakan perhitungan persamaan 2.13 hingga persamaan 2.15. Dari perhitungan tersebut didapatkan nilai  $i_{corr}$ , laju korosi, dan laju kehilangan massa AISI 304 dalam media HCl berturut-turut sebesar  $0,0015 \mu A/cm^2$ , 0,00059 mpy, dan  $0,00033 g/m^2d$ . untuk baja AISI 304 dalam media  $H_2SO_4$  berturut-turut adalah  $0,0009 \mu A/cm^2$ , 0,00036 mpy, dan  $0,0002 g/m^2d$ , pada media  $HNO_3$  nilai  $I_{corr}$ , *Corrosion rate*, dan *mass loss rate* berturut-turut sebesar  $0,00003 \mu A/cm^2$ , 0,00001 mpy,  $0,00001 g/m^2d$ , sedangkan untuk media  $H_3PO_4$  berturut-turut sebesar  $0,0001 \mu A/cm^2$ , 0,00005 mpy, dan  $0,00003 g/m^2d$ . Tabel 4.5 menunjukkan bahwa baja tahan karat AISI 304 memiliki ketahanan korosi yang bagus pada media asam kecuali HCl Hal ini disebabkan karena ion klorida yang terkandung dalam HCl memiliki ukuran atom yang kecil sehingga dapat melakukan intersisi pada lapisan pasif yang dibentuk oleh AISI 304 dan menyebabkan lapisan tersebut rusak sehingga terjadi korosi sumuran.



**Gambar 4.12** Kurva Polarisasi Linear E vs Log i Baja AISI 304 pada Berbagai Media Asam

Kurva polarisasi E vs log i spesimen baja AISI 304 dalam media HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> ditunjukkan oleh Gambar 4.10. Gambar tersebut menunjukkan bahwa kurva polarisasi linear AISI 304 dalam media HNO<sub>3</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, di atas kurva polarisasi dalam media HCl, hal ini menunjukkan bahwa AISI 304 dalam media HNO<sub>3</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> mengalami reaksi elektrokimia lebih anodik daripada dalam media HCl. Namun kurva polarisasi AISI 304 pada media HCl terletak paling ke kanan dibandingkan dengan kurva polarisasi linear pada media H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub> dan memiliki nilai  $I_{corr}$  paling besar daripada kurva H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, sehingga laju korosi pada media HCl lebih besar daripada laju korosi pada media H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, dan HNO<sub>3</sub>.

#### 4.1.4 Pengujian Makro Visual

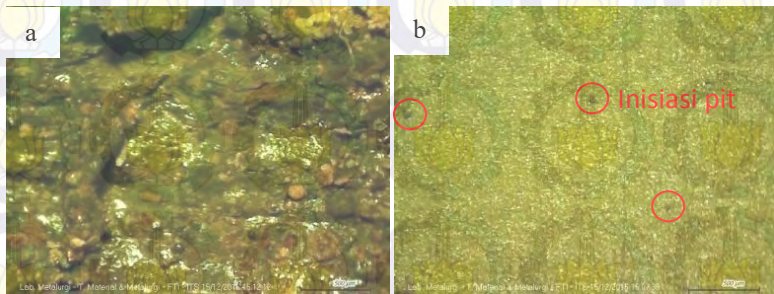
Untuk menganalisa penampakan morfologi korosi yang terbentuk pada baja AISI 1021 dan AISI 304 dilakukan pengujian makro visual dengan menggunakan *stereo microscope* dengan perbesaran 32 kali. Pengujian ini dilakukan untuk mempelajari



perbedaan bentuk permukaan yang terkorosi akibat pengaruh media asam sebagai larutan elektrolit.

#### 4.1.4.1 Hasil Pengujian Makro Visual AISI 1021

Pengujian makro visual ini dilakukan pada spesimen AISI 1021 yang telah direndam dalam media HCl,  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ , dan  $H_3PO_4$  pada konsentrasi 1M.



**Gambar 4.13** Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 1021 dalam HCl pada penampang atas (a) dan penampang samping (b) dengan perbesaran 32x

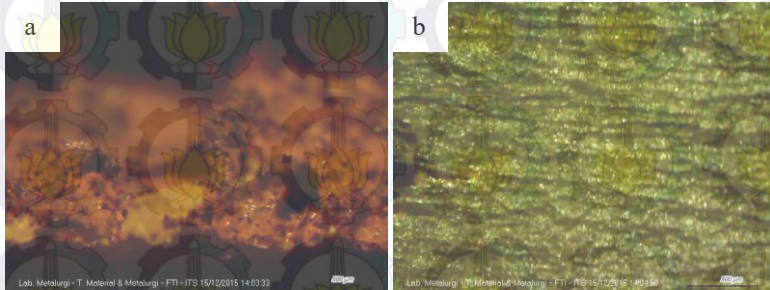
Gambar diatas merupakan morfologi AISI 1021 dalam media HCl pada penampang atas dan penampang samping. Dari Gambar yang diambil pada penampang atas terlihat bahwa korosi yang terjadi pada baja ini merupakan korosi uniform atau korosi merata karena korosi ini terjadi merata pada permukaan sehingga menyebabkan berkurangnya ukuran dimensi dari logam. Selain korosi merata, pada baja ini juga terjadi korosi sumuran, hal ini bisa dilihat pada Gambar yang diambil dari penampang samping (b) pada Gambar tersebut terdapat lubang hitam berukuran kecil yang disebut inisiasi pit.

Bentuk korosi uniform atau merata juga terjadi pada baja AISI 1021 dalam media  $H_2SO_4$ , korosi yang terjadi pada media ini juga mengurangi dimensi dari spesimen, namun seperti yang

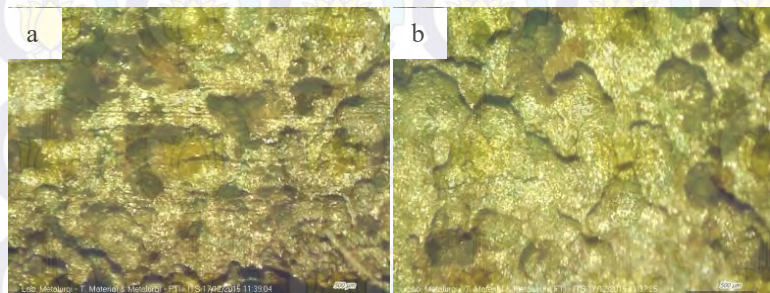




terlihat pada Gambar 4.14 (b) korosi merata AISI 1021 dalam lingkungan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  cenderung membentuk pola seperti serat.



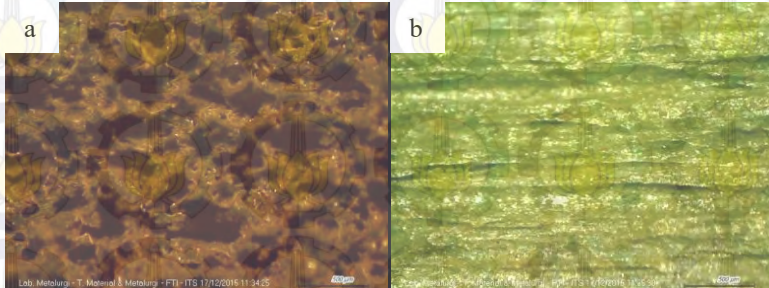
**Gambar 4.14** Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 1021 dalam  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pada posisi penampang atas (a) dan penampang samping (b) dengan perbesaran 32x



**Gambar 4.15** Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 1021 dalam  $\text{HNO}_3$  pada penampang atas (a) dan penampang samping (b) dengan perbesaran 32x

Gambar 4.15 merupakan morfologi AISI 1021 dalam media  $\text{HNO}_3$  pada penampang vertikal (a) dan penampang melintang (b). Dari Gambar di atas terlihat bahwa korosi yang terjadi berbentuk lubang-lubang besar atau ceruk yang merata pada seluruh permukaan baja, bentuk korosi ini termasuk dalam korosi uniform atau korosi merata karena korosi ini terjadi merata di

seluruh permukaan logam dan menyebabkan berkurangnya dimensi dari logam.

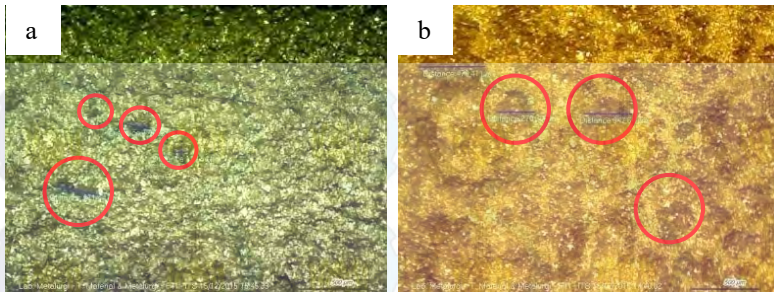


**Gambar 4.16** Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 1021 dalam  $H_3PO_4$  pada posisi vertikal (a) dan posisi melintang (b) dengan perbesaran 32x

Gambar 4.16 merupakan morfologi AISI 1021 dalam media  $H_3PO_4$  pada penampang atas (a) dan penampang samping (b). Dari Gambar di atas terlihat bahwa korosi yang terjadi pada baja ini merupakan korosi uniform atau korosi merata yang memiliki pola seperti korosi yang terjadi pada media  $H_2SO_4$  berbentuk seperti serat.

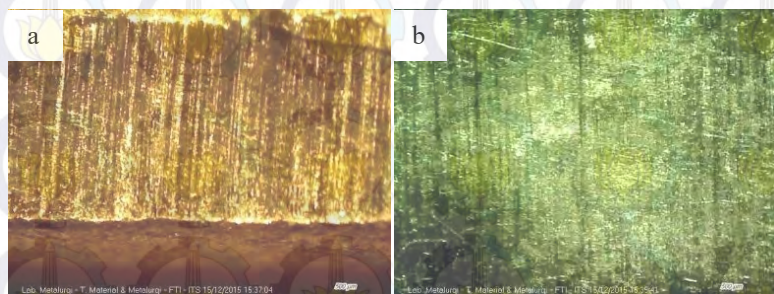
#### 4.1.4.2 Hasil Pengujian Makro Visual AISI 304

Morfologi korosi dari AISI 304 memiliki bentuk yang berbeda dengan morfologi korosi yang terjadi pada baja AISI 1021. Berikut merupakan morfologi korosi baja AISI 304 dalam berbagai media asam.



**Gambar 4.17** Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 304 dalam HCl pada penampang atas (a) dan penampang samping (b) dengan perbesaran 32x

Morfologi korosi baja AISI 304 dalam larutan HCl memiliki karakteristik yang berbeda dengan morfologi pada AISI 1021. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.17 morfologi korosi AISI 304 baik dalam penampang atas (a) maupun penampang samping (b) menunjukkan adanya lubang-lubang dengan ukuran dan bentuk yang bervariasi. Hal ini menandakan bahwa yang terjadi pada logam ini merupakan korosi jenis pitting. Ukuran dimensi dari logam yang terkorosi ini tidak mengalami perubahan namun muncul sebuah lubang-lubang yang mengurangi massa sehingga dapat dihitung laju korosinya.



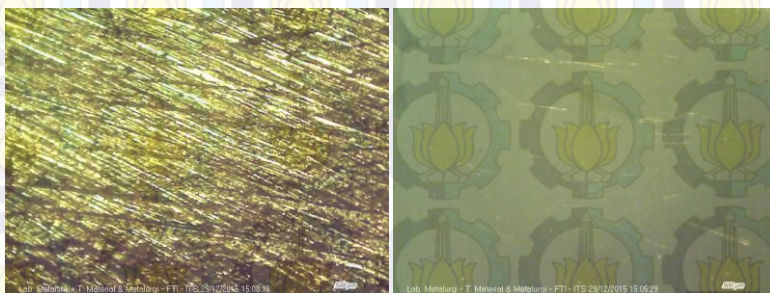
**Gambar 4.18** Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 304 dalam  $H_2SO_4$  pada penampang atas (a) dan penampang samping (b) dengan perbesaran 32x





Bentuk morfologi AISI 304 dalam media  $\text{H}_2\text{SO}_4$  seperti yang terlihat pada Gambar 4.18 menunjukkan bahwa tidak ditemukan korosi baik itu pada penampang atas (a) maupun penampang samping (b). Hal ini sesuai dengan pada saat pengujian *weight loss* tidak ada pengurangan berat yang terjadi secara signifikan.

Gambar 4.19 merupakan morfologi baja AISI 304 dalam media  $\text{HNO}_3$ . Seperti yang terlihat pada Gambar di bawah ini, morfologi pada spesimen ini menunjukkan bahwa tidak ditemukan adanya korosi, morfologi baja ini tidak mengalami perubahan antara spesimen yang telah direndam dalam larutan  $\text{HNO}_3$  dengan morfologi sebelum direndam. Tidak adanya perubahan morfologi pada spesimen ini sesuai dengan hasil yang didapatkan pada uji *weight loss* yaitu tidak ada pengurangan yang signifikan meskipun dengan waktu perendaman yang relatif lama.

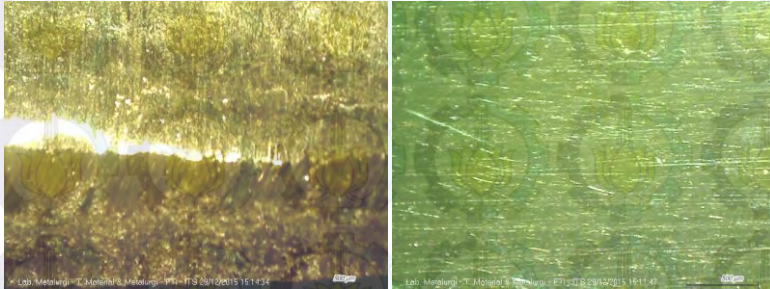


**Gambar 4.19** Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 304 dalam  $\text{HNO}_3$  pada penampang atas (a) dan penampang samping (b) dengan perbesaran 32x

Gambar di bawah ini merupakan morfologi baja AISI 304 dalam media  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Seperti yang terlihat pada Gambar 4.20, tidak ada korosi yang terjadi, dan tidak ada perubahan morfologi antara spesimen yang telah direndam dalam larutan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  dengan morfologi sebelum direndam. Tidak adanya perubahan morfologi pada spesimen ini sesuai dengan hasil yang didapatkan



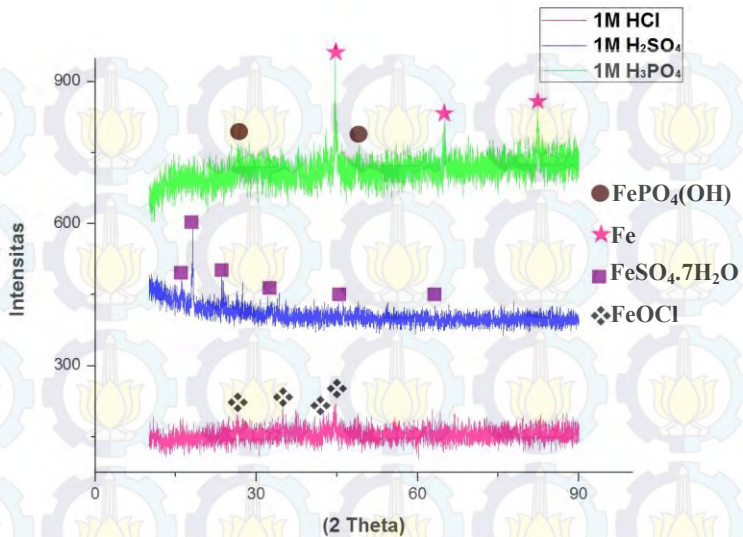
pada uji *weight loss* yaitu tidak ada pengurangan berat yang signifikan meskipun sampai pada hari perendaman ke 28.



**Gambar 4.20** Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 304 dalam  $\text{H}_3\text{PO}_4$  pada penampang atas (a) dan penampang samping (b) dengan perbesaran 32x

#### 4.1.5 Hasil Pengujian Difraksi Sinar X (XRD)

Pengujian *X-Ray Diffraction* dilakukan pada spesimen baja AISI 1021 dalam media  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Pada baja AISI 304 tidak dilakukan pengujian *X-Ray Diffraction* karena tidak terdapat produk korosi yang terbentuk pada spesimen. Pengujian ini menggunakan alat XRD PANalytical kemudian dicocokkan manual menggunakan kartu PCPDF.



**Gambar 4.21** Grafik Hasil Pengujian *X-Ray Diffraction* pada Baja AISI 1021 dalam Berbagai Media Asam

Gambar 4.19 menunjukkan hasil pengujian *X-Ray Diffraction* baja AISI 1021 dalam media HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Melalui hasil penocokan antara puncak yang terbentuk dengan kartu PCPDF, maka diketahui bahwa sampel baja karbon AISI 1021 pada media HCl produk korosinya berupa FeOCl. Posisi 2 theta puncak tertinggi adalah FeOCl yang bersesuaian dengan ICDD 01-076-2300. Untuk sampel yang direndam pada media H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> menunjukkan semua peak yang terbentuk adalah FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O yang bersesuaian dengan ICDD 00-001-0255. Sedangkan pada sampel yang direndam dalam H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> menunjukkan adanya unsur yang terbentuk adalah Fe yang bersesuaian dengan ICDD 00-006-0696 dan senyawa Fe(PO<sub>4</sub>)(OH) yang cocok dengan ICDD 01-073-3765.





#### 4.1.6 Hasil Pengujian *Energy Dispersive X-ray*

Pengujian EDX dilakukan pada spesimen baja AISI 1021 yang direndam dalam media  $\text{HNO}_3$ . Berikut merupakan tabel hasil pengujian EDX.

**Tabel 4.6** Komposisi Unsur Baja AISI 1021 dalam Media  $\text{HNO}_3$

Element	Wt%	At%
C	4,85	8,63
N	8,72	13,32
O	47,16	63,03
Fe	39,26	15,03

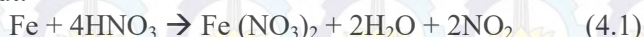
Dari gambar grafik dan tabel di atas didapatkan pada permukaan baja AISI 1021 yang telah direndam dalam media  $\text{HNO}_3$  terdapat unsur Fe, N, dan O dengan persentase Fe sebesar 39,26%, N sebesar 8,72%, dan O sebesar 47,16%.

#### 4.2 Pembahasan

Hasil pengujian spektrometer pada Tabel 4.1 menyatakan bahwa baja karbon yang digunakan memiliki kandungan karbon sebesar 0,201% , kandungan mangan sebesar 0,834% , fosfor sebesar 0,0107 % , dan kandungan Sulfur sebesar 0,0059% sehingga baja karbon ini dapat dikategorikan sebagai baja AISI 1021 karena memenuhi komposisi kimia AISI 1021 dalam ASTM A830. Sedangkan untuk baja tahan karat yang digunakan adalah baja mengandung kadar karbon sebesar 0,0367%, kromium sebesar 17,5% dan kandungan Nikel sebesar 8,06%, kandungan beberapa unsur tersebut telah sesuai dengan standar yang ditetapkan pada ASTM A240 untuk tipe 304, sehingga baja ini merupakan baja tahan karat AISI 304. Kedua baja ini kemudian direndam dalam larutan elektrolit yang berbeda-beda untuk menganalisa perilaku korosi kedua baja tersebut dalam berbagai lingkungan asam.



Hasil pengujian *weight loss* pada Tabel 4.2 menunjukkan bahwa laju korosi baja AISI 1021 dalam seluruh media asam termasuk ke dalam kategori *Unacceptable* karena laju korosinya  $> 200$  mpy pada semua jenis dan konsentrasi larutan. Laju korosi baja AISI 1021 memiliki trend yang berbeda-beda pada masing-masing larutan elektrolit. untuk media HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> laju korosi AISI 1021 memiliki trend semakin lama waktu perendaman maka laju korosi akan meningkat, hal ini berkebalikan dengan yang terjadi pada media HNO<sub>3</sub>. Laju korosi pada semua media asam meningkat dengan meningkatnya konsentrasi larutan, yang disebabkan karena kenaikan konsentrasi menaikkan jumlah ion hidrogen yang merupakan komponen utama reaksi katodik (Khadom,2009). Baja AISI 1021 memiliki laju korosi tertinggi pada media HNO<sub>3</sub>, diikuti oleh media H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, dan laju korosi terendah pada media HCl. Serangan korosi dalam HNO<sub>3</sub> sangat signifikan karena HNO<sub>3</sub> dikenal menjadi agen pengoksidasi kuat. Mekanisme autokatalitik yang terjadi dapat menjelaskan penyebab laju korosi yang tinggi pada media ini (El Ald Haleem dkk, 1980). Perpindahan primer ion H<sup>+</sup> dari larutan diikuti dengan pengurangan HNO<sub>3</sub>, pengurangan asam ini menyebabkan penurunan tajam dalam energi bebas dan menyebabkan reaksi menjadi spontan. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Reaksi ini menyebabkan evolusi nitrogen(II) oksida dan memproduksi Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> yang menyebabkan pewarnaan lanjut pada medium. Namun, laju korosi pada HNO<sub>3</sub> menurun dengan bertambahnya waktu perendaman. hal ini disebabkan oleh produk korosi yang dihasilkan berupa lapisan yang melekat pada spesimen yang kemudian menghambat laju korosi, selain itu kekuatan asam dalam media yang berkurang menyebabkan menurunnya laju korosi dalam media ini (osarolube et al, 2008). Sedangkan untuk baja AISI 304 ketahanan korosi baja ini termasuk ke dalam kategori *outstanding* pada beberapa media



asam kecuali pada HCl. Berikut merupakan Tabel ketahanan korosi baja AISI 304 diberbagai media asam.

**Tabel 4.7 Ketahanan Korosi AISI 304**

Media	Konsentrasi (M)	Laju Korosi rata-rata (mpy)	Ketahanan Korosi Relatif
HCl	0,1	0,00	<i>Outstanding</i>
	0,5	33,14	<i>Fair</i>
	1	85,14	<i>Poor</i>
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,1	0,00	<i>Outstanding</i>
	0,5	0,02	<i>Outstanding</i>
	1	0,93	<i>Outstanding</i>
HNO <sub>3</sub>	0,1	0,03	<i>Outstanding</i>
	0,5	0,04	<i>Outstanding</i>
	1	0,08	<i>Outstanding</i>
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,1	0,03	<i>Outstanding</i>
	0,5	0,05	<i>Outstanding</i>
	1	0,16	<i>Outstanding</i>

Baja AISI 304 memiliki ketahanan korosi yang baik disebabkan adanya kandungan kromium yang tinggi yaitu lebih besar dari 18%, unsur paduan kromium ini memiliki pengaruh yang tinggi terhadap ketahanan korosi baja, karena kromium memiliki karakteristik khusus yaitu membentuk lapisan kromium oksida Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> di permukaan baja apabila bereaksi dengan oksigen. Namun, pada media HCl baja AISI 304 tidak tahan terhadap korosi dikarenakan adanya ion klorida yang sangat agresif yang mampu masuk ke dalam celah lapisan pasif Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> secara intersisi dan merusak lapisan pasif tersebut. Ion klorida ini merusak lapisan pasif dengan mekanisme sebagai berikut:

1. Penetrasi lapisan pasif

Mekanisme penetrasi melibatkan migrasi ion agresif Cl<sup>-</sup> dari elektrolit yang melalui lapisan pasif masuk ke





antarmuka oksida logam akibat pengaruh tinggi kekuatan medan listrik dari lapisan pasif

2. Mekanisme kerusakan lapisan

Mekanisme kerusakan lapisan dimulai dengan celah-celah yang terbentuk pada lapisan pasif disebabkan oleh aktivitas korosi, celah tersebut mengekspos area kecil dari permukaan logam untuk elektrolit sehingga terjadi pembentukan lubang.

3. Adsorpsi

Mekanisme adsorpsi mengacu pada peningkatan perpindahan kation dari film pasif untuk elektrolit karena sifat kompleks dari anion agresif dan deplesi kromium. Proses ini menyebabkan penipisan bahkan dapat menghilangkan lapisan pasif. (Al-Taher, 2014)

Hasil pengujian polarisasi linear baja AISI 1021 dan AISI 304 ditunjukkan pada Tabel 4.4 - 4.5 dan Gambar 4.9 dan 4.10. Tabel 4.4 merupakan Tabel hasil pengujian polarisasi linear baja AISI 1021 dalam berbagai media asam, pada Tabel tersebut dapat diketahui bahwa baja AISI 1021 memiliki  $i_{\text{corr}}$  paling tinggi yaitu dalam media  $\text{HNO}_3$ , kemudian diikuti oleh  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , dan nilai  $i_{\text{corr}}$  terkecil pada media  $\text{HCl}$ . Nilai  $i_{\text{corr}}$  sebanding dengan laju korosi yang dihasilkan. Hasil yang didapatkan pada pengujian polarisasi linear ini memiliki tren yang sama dengan hasil yang didapatkan pada pengujian *weight loss* yang menunjukkan bahwa  $\text{HNO}_3$  merupakan agen pengoksidasi yang kuat daripada ketiga media lainnya. Dari grafik pengujian linear baja AISI 1021 dalam berbagai media asam yang ditunjukkan oleh Gambar 4.9 diketahui bahwa nilai potensial korosi dari yang paling tinggi menuju ke potensial korosi yang lebih negatif berturut-turut adalah  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HCl}$ , dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . hal ini menunjukkan bahwa reaksi elektrokimia yang terjadi pada baja AISI 1021 dalam media  $\text{HNO}_3$  lebih anodik dibandingkan dengan pada media yang lainnya, seperti yang dijelaskan oleh Noor dalam penelitiannya bahwa semakin positif nilai potensial



korosinya maka reaksi elektrokimia yang terjadi merupakan reaksi anodik.

Sedangkan hasil pengujian polarisasi linear baja AISI 304 yang ditunjukkan oleh Tabel 4.5 diketahui bahwa AISI 304 memiliki laju korosi paling tinggi pada media HCl, diikuti  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , dan laju korosi terkecil yaitu pada media  $\text{HNO}_3$ . Dari grafik pengujian linear baja AISI 304 dalam berbagai media asam yang terdapat pada Gambar 4.10 terlihat bahwa kurva polarisasi linear baja AISI 304 dalam media  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , dan  $\text{HNO}_3$  terbentuk polarisasi katodik kemudian polarisasi anodik sampai pada potensial tertentu kemudian kembali mengalami polarisasi katodik. hal ini menunjukkan bahwa pada ketiga media tersebut baja membentuk lapisan pelindung. menurut threteway (1991) lapisan pelindung ini kemudian akan menyebabkan kerapatan arus korosi turun secara mendadak yang menyebabkan laju korosi pada ketiga baja ini menurun, hal ini sesuai dengan hasil pengujian *weight loss* pada Tabel 4.3 yang menunjukkan bahwa laju korosi baja AISI 304 dalam ketiga larutan tersebut menurun dengan bertambahnya waktu perendaman. sedangkan untuk grafik polarisasi linear pada media HCl menunjukkan bahwa polarisasi yang terbentuk yaitu polarisasi katodik dan polarisasi anodik, namun pada grafik tersebut belum terjadi pembentukan lapisan pelindung yang dapat menurunkan laju korosi. Gambar 4.10 juga menunjukan bahwa kurva polarisasi pada media HCl terletak paling ke kanan dari ketiga media lainnya, ini menunjukkan bahwa laju korosi baja AISI 304 dalam HCl paling tinggi diantara ketiga media lainnya.

Nilai laju korosi yang didapatkan dengan pengujian tafel berbeda jauh dengan hasil laju korosi menggunakan metode pengujian *weight loss*. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan metode dan lama waktu pengujian. Pada metode *weight loss* ada interval waktu yang cukup panjang yang menyebabkan reaksi korosi berjalan sempurna, sehingga menyebabkan masa yang hilang besar dan laju korosi tinggi. Metode *weight loss* menggambarkan kejadian aktual yang terjadi dilapangan.



sedangkan pada pengujian polarisasi tidak punya waktu yang cukup lama untuk terjadi proses korosi.

Berdasarkan hasil pengujian makro visual pada Gambar 4.13 sampai Gambar 4.16 menunjukkan bahwa secara umum pada baja AISI 1021 korosi yang terjadi merupakan korosi merata yang menyebabkan adanya perubahan dimensi pada spesimen. Bentuk korosi merata baja AISI 1021 dalam  $\text{HNO}_3$  berupa ceruk besar yang mengurangi massa spesimen secara signifikan sehingga laju korosi pada media ini sangat tinggi seperti yang didapatkan pada hasil pengujian *weight loss* pada Tabel 4.2. untuk media HCl korosi yang terjadi pada permukaan atas berbeda dengan yang terjadi pada permukaan samping, bentuk korosi pada permukaan atas sama dengan bentuk korosi yang terjadi pada media  $\text{HNO}_3$  yaitu korosi merata, namun pada permukaan samping bentuk korosi yang terjadi yaitu korosi sumuran yang disebabkan adanya ion klorida yang mengintersisi permukaan baja sehingga terbentuk korosi lokal tersebut, perbedaan bentuk korosi yang terjadi dalam HCl pada penampang atas maupun penampang samping dikarenakan adanya perbedaan kekasaran permukaan spesimen, menurut Rizky dalam penelitiannya permukaan logam yang kasar akan menimbulkan beda potensial pada permukaan, semakin kasar maka semakin tinggi beda potensial antar permukaan tersebut sehingga memiliki kecenderungan untuk menjadi anoda yang terkorosi. Sedangkan untuk media  $\text{H}_2\text{SO}_4$  dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  korosi yang terbentuk juga korosi merata namun jejak yang ditinggalkan berbentuk seperti serat. Untuk baja AISI 304, pengamatan morfologi yang dilakukan mendapatkan hasil bahwa pada baja AISI 304 dalam media  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ , dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  tidak ditemukan adanya korosi, morfologi baja sebelum direndam ke dalam ketiga media tersebut sama dengan morfologi setelah dilakukan perendaman. hal ini sesuai dengan data yang didapatkan pada pengujian *weight loss* dalam Tabel 4.3 bahwa tidak terdapat pengurangan berat yang signifikan pada spesimen dan laju korosi yang didapatkan pun sangat kecil. Sedangkan morfologi baja AISI 304 pada media HCl menunjukkan adanya





korosi sumuran yang tersebar di seluruh permukaan baja, korosi sumuran ini menyebabkan pengurangan berat yang besar pada baja sehingga pada hasil *weight loss* yang didapatkan laju korosinya tinggi.

Hasil pengujian *X-Ray Diffraction* yang telah dilakukan pada baja AISI 1021 dalam media HCl menunjukkan bahwa unsur yang terdeteksi adalah senyawa  $\text{FeOCl}$ , senyawa produk korosi ini terbentuk dari reaksi kimia antara besi dengan elektrolit HCl yang telah diencerkan seperti pada persamaan 2.5-2.7. Untuk pengujian XRD spesimen yang direndam  $\text{H}_2\text{SO}_4$  terdeteksi senyawa produk korosinya adalah  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  sebagai hasil dari reaksi antara besi dengan elektrolit  $\text{H}_2\text{SO}_4$  yang sesuai dengan persamaan 2.16. Sedangkan untuk media  $\text{H}_3\text{PO}_4$  fasa yang terdeteksi pada pengujian XRD adalah unsur Fe dan senyawa  $\text{FePO}_4(\text{OH})$  sebagai hasil produk korosi senyawa yang didapat sesuai dengan reaksi pada persamaan 2.29-2.30. Karena pada pengujian AISI 1021 dalam media  $\text{HNO}_3$  tidak ditemukan peak maka dilakukan pengujian EDX pada spesimen tersebut untuk mengetahui unsur yang terdapat pada permukaan spesimen. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa unsur yang terdapat pada permukaan spesimen adalah unsur Fe, N, dan O dengan intensitas tertinggi adalah unsur O. Menurut osarolube et al dalam penelitiannya, senyawa yang terbentuk pada baja dalam media  $\text{HNO}_3$  adalah  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ . Hal ini sesuai dengan hasil yang didapatkan pada pengujian EDX bahwa pada permukaan baja terdapat unsur Fe, N, dan O.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari analisa terhadap hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap baja AISI 1021 dan AISI 304 dalam berbagai lingkungan asam didapatkan kesimpulan bahwa:

1. Semakin tinggi konsentrasi larutan elektrolit maka laju korosi pada baja AISI 1021 dan AISI 304 semakin tinggi, hal ini terjadi pada hampir seluruh media.
2. Perilaku korosi baja AISI 1021 dan AISI 304:
  - a. Baja AISI 1021 dalam berbagai media asam memiliki ketahanan korosi yang dikategorikan *unacceptable*, laju korosi baja AISI 1021 dalam HCl,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  meningkat dengan bertambahnya waktu, pada media  $\text{HNO}_3$  laju korosi menurun dengan bertambahnya waktu karena terbentuknya lapisan pasif. Bentuk korosi yang terjadi pada baja ini merupakan serangan korosi merata. Pada hasil pengujian XRD ditemukan produk korosi dalam media HCl produk korosi berupa  $\text{FeOCl}$ , pada media  $\text{H}_2\text{SO}_4$  yaitu  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . dan dalam media  $\text{H}_3\text{PO}_4$  produk korosinya  $\text{FePO}_4(\text{OH})$ .
  - b. Baja AISI 304 memiliki ketahanan korosi yang sangat baik pada media  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , dan  $\text{H}_3\text{PO}_4$ . Namun pada media HCl ketahanan korosinya termasuk dalam kategori *poor*. Laju korosi baja AISI 304 pada semua media asam menurun dengan bertambahnya waktu. Pada media HCl bentuk korosi yang terjadi merupakan korosi sumuran, namun pada ketiga media lainnya tidak ditemukan korosi sumuran maupun korosi merata karena serangan korosi yang terjadi sangat kecil.



## 5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan maka berikut adalah beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Perlu adanya variasi temperatur pada pengujian selanjutnya.



## LAMPIRAN A

### PEMBUATAN MEDIA HCl

Diketahui :

- Berat jenis HCl : 1,2 gr/ml
- Mr HCl : 36,5 gr/mol
- % HCl : 37%

Ditanya:

- Molaritas?

Jawab:

$$M = \frac{\% \times 10 \times BJ}{Mr}$$

$$M = \frac{37 \times 10 \times 1,2}{36,5}$$

$$M = 12,16 \text{ M}$$

Untuk membuat larutan HCl 0,1M ; 0,5M ; dan 1 M maka dibutuhkan pengenceran. Hasil yang di dapat dari perhitungan menggunakan rumus molaritas dapat dimasukkan ke dalam rumus pengenceran larutan, dengan asumsi dibutuhkan 1000 ml HCl:

a. Untuk HCl 0,1M

$$\begin{aligned} V_1 M_1 &= V_2 M_2 \\ V_1 \times 12,16 &= 1000 \times 0,1 \\ V_1 &= 8,22 \text{ mL} \end{aligned}$$

b. Untuk HCl 0,5 M

$$\begin{aligned} V_1 M_1 &= V_2 M_2 \\ V_1 \times 12,16 &= 1000 \times 0,5 \\ V_1 &= 41,11 \text{ mL} \end{aligned}$$

c. Untuk HCl 1 M

$$\begin{aligned} V_1 M_1 &= V_2 M_2 \\ V_1 \times 12,16 &= 1000 \times 1 \\ V_1 &= 82,2 \text{ mL} \end{aligned}$$

Jadi untuk mendapatkan 1000 ml larutan HCl 0,1M; 0,5M; dan 1M, dibutuhkan 8,22 ml; 41,11 ml; dan 82,2 ml HCl 37% berturut-turut. kemudian ditambahkan aquades hingga volume 1000 ml.

## LAMPIRAN B

### PEMBUATAN MEDIA H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Diketahui :

- Berat jenis H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : 1,83 gr/ml
- Mr H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : 98 gr/mol
- % H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> : 98%

Ditanya:

- Molaritas?

Jawab:

$$M = \frac{\% \times 10 \times BJ}{Mr}$$

$$M = \frac{98 \times 10 \times 1,83}{98}$$

$$M = 18,3 \text{ M}$$

Untuk membuat larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1M ; 0,5M ; dan 1 M maka dibutuhkan pengenceran. Hasil yang di dapat dari perhitungan menggunakan rumus molaritas dapat dimasukkan ke dalam rumus pengenceran larutan, dengan asumsi dibutuhkan 1000 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:

a. Untuk H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1M

$$\begin{aligned} V_1 M_1 &= V_2 M_2 \\ V_1 \times 18,3 &= 1000 \times 0,1 \\ V_1 &= 5,46 \text{ mL} \end{aligned}$$

b. Untuk H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M

$$\begin{aligned} V_1 M_1 &= V_2 M_2 \\ V_1 \times 18,3 &= 1000 \times 0,5 \\ V_1 &= 27,32 \text{ mL} \end{aligned}$$

c. Untuk H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 M

$$\begin{aligned} V_1 M_1 &= V_2 M_2 \\ V_1 \times 18,3 &= 1000 \times 1 \\ V_1 &= 54,46 \text{ mL} \end{aligned}$$

Jadi untuk mendapatkan 1000 ml larutan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1M; 0,5M; dan 1M, dibutuhkan 5,46 ml; 27,32 ml; dan 54,46 ml H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98% berturut-turut. kemudian ditambahkan aquades hingga volume 1000 ml.

## LAMPIRAN C

### PEMBUATAN MEDIA $\text{HNO}_3$

Diketahui :

- Berat jenis  $\text{HNO}_3$  : 1,49 gr/ml
- Mr  $\text{HNO}_3$  : 63 gr/mol
- %  $\text{HNO}_3$  : 69%

Ditanya:

- Molaritas?

Jawab:

$$M = \frac{\% \times 10 \times BJ}{Mr}$$

$$M = \frac{69 \times 10 \times 1,49}{63}$$

$$M = 16,319 \text{ M}$$

Untuk membuat larutan  $\text{HNO}_3$  0,1M ; 0,5M ; dan 1 M maka dibutuhkan pengenceran. Hasil yang di dapat dari perhitungan menggunakan rumus molaritas dapat dimasukkan ke dalam rumus pengenceran larutan, dengan asumsi dibutuhkan 1000 ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$ :

d. Untuk  $\text{HNO}_3$  0,1M

$$\begin{aligned} V_1 M_1 &= V_2 M_2 \\ V_1 \times 16,32 &= 1000 \times 0,1 \\ V_1 &= 6,127 \text{ mL} \end{aligned}$$

e. Untuk  $\text{HNO}_3$  0,5 M

$$\begin{aligned} V_1 M_1 &= V_2 M_2 \\ V_1 \times 16,32 &= 1000 \times 0,5 \\ V_1 &= 30,63 \text{ mL} \end{aligned}$$

f. Untuk  $\text{HNO}_3$  1 M

$$\begin{aligned} V_1 M_1 &= V_2 M_2 \\ V_1 \times 16,32 &= 1000 \times 1 \\ V_1 &= 61,27 \text{ mL} \end{aligned}$$

Jadi untuk mendapatkan 1000 ml larutan  $\text{HNO}_3$  0,1M; 0,5M; dan 1M, dibutuhkan 6,127 ml; 30,63 ml; dan 61,27 ml  $\text{HNO}_3$  69% berturut-turut. kemudian ditambahkan aquades hingga volume 1000 ml.



## LAMPIRAN D

### PEMBUATAN MEDIA $\text{H}_3\text{PO}_4$

Diketahui :

- Berat jenis  $\text{H}_3\text{PO}_4$  : 1,685 gr/ml
- Mr  $\text{H}_3\text{PO}_4$ : 98 gr/mol
- %  $\text{H}_3\text{PO}_4$  : 85%

Ditanya:

- Molaritas?

Jawab:

$$M = \frac{\% \times 10 \times BJ}{Mr}$$

$$M = \frac{85 \times 10 \times 1,685}{98}$$

$$M = 14,61 \text{ M}$$

Untuk membuat larutan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0,1M ; 0,5M ; dan 1 M maka dibutuhkan pengenceran. Hasil yang di dapat dari perhitungan menggunakan rumus molaritas dapat dimasukkan ke dalam rumus pengenceran larutan, dengan asumsi dibutuhkan 1000 ml  $\text{H}_3\text{PO}_4$ :

g. Untuk  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0,1M

$$\begin{aligned} V_1 M_1 &= V_2 M_2 \\ V_1 \times 14,61 &= 1000 \times 0,1 \\ V_1 &= 6,84 \text{ mL} \end{aligned}$$

h. Untuk  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0,5 M

$$\begin{aligned} V_1 M_1 &= V_2 M_2 \\ V_1 \times 14,61 &= 1000 \times 0,5 \\ V_1 &= 34,223 \text{ mL} \end{aligned}$$

i. Untuk  $\text{H}_3\text{PO}_4$  1 M

$$\begin{aligned} V_1 M_1 &= V_2 M_2 \\ V_1 \times 14,61 &= 1000 \times 1 \\ V_1 &= 68,45 \text{ mL} \end{aligned}$$

Jadi untuk mendapatkan 1000 ml larutan  $\text{H}_3\text{PO}_4$  0,1M; 0,5M; dan 1M, dibutuhkan 6,84 ml; 34,223 ml; dan 68,45 ml  $\text{H}_3\text{PO}_4$  98% berturut-turut. kemudian ditambahkan aquades hingga volume 1000 ml.

# LAMPIRAN E

## HASIL PENGUJIAN OES AISI 1021



**barata indonesia** PT. PERSADA

UNIT FOUNDRY GRESIK

### Chemical Results

Sample No : SAMPEL 1

Customer : HS

Furnace : NA

Name of Equipment : NA

Heat No : NA

Order No : NA

Lab. No : 26102015/CO

Material : /

Spektroanalyzer Foundry-MASTER

Grade :

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	KL
1	98,6	0,201	0,0120	0,834	0,0107	0,0059	0,0241	0,0037	0,0105
Ave	98,6	0,201	0,0120	0,834	0,0107	0,0059	0,0241	0,0037	0,0105
	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn
1	0,0311	0,0037	0,0474	0,0043	0,0127	< 0,0010	0,0113	< 0,0025	0,0041
Ave	0,0311	0,0037	0,0474	0,0043	0,0127	< 0,0010	0,0113	< 0,0025	0,0041
	B	Ca	Zr	Bi	As	Ni	Zn		
1	< 0,0003	0,0001	< 0,0015	0,0151	0,0038	0,0590	0,0147		
Ave	< 0,0003	0,0001	< 0,0015	0,0151	0,0038	0,0590	0,0147		

Town  
Gresik

Date  
28/10/2015

Tester  
[Signature]

QC. Manager

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123  
Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666  
Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id

**barata indonesia**  
PT. (PERSADA)

# LAMPIRAN F

## HASIL PENGUJIAN OES AISI 304



**barata indonesia**  
PT. (PERSERO)

UNIT FOUNDRY GRESIK

### Chemical Results

Sample No.: SAMPEL 2

Customer: HS

Furnace: NA

Name of Equipment: WA

Heat No.: NA

Order No.: NA

Lab. No.: 26102015/00

Material:

Spektralanalyzer Foundry-MASTER Grade I

	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	Ni
1	71,1	0,0367	0,430	1,86	0,0421	0,0037	17,5	0,187	8,06
Ave	71,1	0,0367	0,430	1,86	0,0421	0,0037	17,5	0,187	8,06
	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W	Pb	Sn
1	0,0034	0,160	0,356	0,0247	0,0030	0,0793	0,0316	< 0,0025	0,0065
Ave	0,0034	0,160	0,356	0,0247	0,0030	0,0793	0,0316	< 0,0025	0,0065
	B	Cd	Se	N					
1	0,0001	0,0001	< 0,0035	0,0511					
Ave	0,0001	0,0001	< 0,0035	0,0511					

Town:

Date:

Tester:

QC. Manager:

Gresik

26/10/2015

**barata indonesia**  
PT. (PERSERO)

Jl. VETERAN No. 241 GRESIK 61123

Telp. (031) 3990555 Fax. (031) 3990666

Web: www.barata.co.id e-mail: info@barata.co.id



**LAMPIRAN G**  
**HASIL PENGUJIAN WEIGHT LOSS AISI 1021**

Elektrolit (M)	Waktu ekspose (jam)	spesimen	Massa awal (gr)	Massa akhir (gr)	Massa hilang (gr)	Laju korosi (mpy)
HCl						
0,1 (pH = 1)	24	1	9,86	9,76	0,10	178,68
		2	9,86	9,77	0,09	157,19
	48	1	10,05	9,79	0,26	229,05
		2	10,09	9,83	0,25	227,27
	72	1	10,03	9,64	0,40	234,91
		2	9,97	9,55	0,42	247,63
	96	1	9,86	9,29	0,58	257,50
		2	9,86	9,29	0,58	245,46
	120	1	10,05	9,36	0,70	248,29
		2	10,09	9,30	0,79	281,93
	144	1	10,03	9,08	0,95	282,64
		2	9,97	8,89	1,09	322,67
	168	1	9,86	9,05	0,82	208,81
		2	9,86	9,04	0,82	200,66
0,5 (pH = 0,3)	24	1	9,83	9,65	0,18	312,78
		2	10,19	9,99	0,20	337,24
	48	1	9,94	9,53	0,40	360,30
		2	10,30	9,89	0,41	349,70
	72	1	9,79	9,08	0,70	418,82
		2	10,36	9,57	0,79	452,21
	96	1	9,83	8,86	0,97	433,14
		2	10,19	9,15	1,04	442,67
	120	1	9,94	8,88	1,06	379,43

Elektrolit (M)	Waktu ekspose (jam)	spesimen	Massa awal (gr)	Massa akhir (gr)	Massa hilang (gr)	Laju korosi (mpy)
	144	2	10,30	9,20	1,09	373,32
		1	9,79	8,25	1,54	457,25
	168	2	10,36	8,64	1,72	490,05
		1	9,83	7,74	2,09	532,60
		2	10,19	8,05	2,14	522,49
1 (pH = 0)	24	1	9,67	9,58	0,09	148,14
		2	10,23	10,14	0,09	155,14
	48	1	10,07	9,83	0,23	190,73
		2	10,62	10,38	0,24	201,99
	72	1	10,58	10,25	0,32	193,18
		2	10,13	9,72	0,40	229,89
	96	1	9,67	8,99	0,67	287,58
		2	10,23	9,56	0,67	297,62
	120	1	10,07	9,32	0,75	245,11
		2	10,62	9,84	0,78	265,77
	144	1	10,58	9,62	0,96	284,57
		2	10,13	9,14	0,99	281,97
	168	1	9,67	8,02	1,65	401,66
		2	10,23	8,37	1,86	473,37
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>						
0,1 (pH = 1)	24	1	9,62	9,42	0,19	345,90
		2	9,66	9,44	0,22	393,02
	48	1	10,62	10,13	0,49	418,82
		2	10,66	10,06	0,60	514,48
	72	1	10,18	9,00	1,18	671,30
		2	10,57	9,37	1,20	685,29
	96	1	9,62	7,94	1,68	748,63

Elektrolit (M)	Waktu ekspose (jam)	spesimen	Massa awal (gr)	Massa akhir (gr)	Massa hilang (gr)	Laju korosi (mpy)
0,5 (pH = 0,3)	120	2	9,66	7,89	1,76	786,31
		1	10,62	8,05	2,57	875,80
	144	2	10,66	8,06	2,60	885,80
		1	10,18	6,62	3,56	1012,55
	168	2	10,57	6,45	4,12	1172,32
		1	9,62	5,76	3,86	986,03
	24	2	9,66	5,29	4,37	1111,99
		1	9,45	9,14	0,31	576,13
	48	2	9,71	9,44	0,27	485,75
		1	9,95	9,28	0,67	568,24
1 (pH = 0)	72	2	10,07	9,32	0,75	665,58
		1	10,45	9,10	1,35	804,94
	96	2	9,53	7,78	1,75	1088,73
		1	9,45	6,68	2,77	1294,53
	120	2	9,71	6,97	2,74	1220,65
		1	9,95	6,38	3,57	1218,20
	144	2	10,07	6,77	3,30	1176,42
		1	10,45	4,01	6,45	1916,42
	168	2	9,53	3,55	5,98	1860,74
		1	9,45	2,25	7,20	1920,13
1 (pH = 0)	24	2	9,71	2,54	7,17	1826,09
		1	10,04	9,65	0,38	624,66
	48	2	9,83	9,46	0,37	666,74
		1	9,67	8,51	1,16	1036,49
	72	2	9,93	8,23	1,69	1445,73
		1	9,95	7,68	2,27	1348,64
		2	9,66	7,46	2,21	1373,31



Elektrolit (M)	Waktu ekspose (jam)	spesimen	Massa awal (gr)	Massa akhir (gr)	Massa hilang (gr)	Laju korosi (mpy)
	96	1	10,04	6,08	3,96	1617,20
		2	9,83	6,10	3,74	1665,88
	120	1	9,67	4,84	4,83	1724,05
		2	9,93	4,31	5,62	1917,36
	144	1	9,95	2,74	7,21	2143,48
		2	9,66	2,80	6,86	2135,98
	168	1	10,04	2,36	7,68	1791,47
		2	9,83	2,60	7,23	1841,55
HNO <sub>3</sub>						
0,1 (pH = 1)	24	1	10,19	9,63	0,56	998,06
		2	10,42	9,95	0,47	796,34
	48	1	9,95	9,18	0,77	687,07
		2	10,36	9,94	0,42	372,16
	72	1	10,71	9,86	0,85	483,16
		2	10,05	9,55	0,50	296,25
	96	1	10,19	9,47	0,72	320,35
		2	10,42	9,74	0,68	290,95
	120	1	9,95	9,05	0,90	321,37
		2	10,36	9,78	0,58	206,03
	144	1	10,71	9,69	1,01	288,12
		2	10,05	9,33	0,72	214,19
	168	1	10,19	9,26	0,93	236,99
		2	10,42	9,53	0,89	216,87
0,5 (pH = 0,3)	24	1	8,17	6,59	1,58	3573,23
		2	10,24	7,84	2,39	4270,44
	48	1	10,04	7,57	2,47	2201,91
		2	10,08	7,54	2,54	2268,78

Elektrolit (M)	Waktu ekspose (jam)	spesimen	Massa awal (gr)	Massa akhir (gr)	Massa hilang (gr)	Laju korosi (mpy)
1 (pH = 0)	72	1	9,99	7,14	2,84	1689,77
		2	10,31	8,45	1,86	1056,33
	96	1	8,17	6,52	1,65	931,97
		2	10,24	7,17	3,07	1366,43
	120	1	10,04	7,41	2,63	938,65
		2	10,08	7,34	2,74	976,81
	144	1	9,99	6,68	3,31	983,47
		2	10,31	7,99	2,31	658,38
	168	1	8,17	6,35	1,82	587,87
		2	10,24	6,70	3,54	902,15
	24	1	9,71	5,24	4,47	7976,32
		2	10,05	4,86	5,19	9252,38
	48	1	9,67	4,32	5,35	4774,29
		2	10,04	4,12	5,92	5522,74
	72	1	10,20	3,87	6,33	3762,70
		2	9,73	3,74	5,99	3562,62
	96	1	9,71	4,12	5,60	2494,58
		2	10,05	4,86	5,19	2313,85
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	120	1	9,67	4,31	5,36	1911,00
		2	10,04	4,12	5,92	2210,22
	144	1	10,20	3,86	6,34	1883,52
		2	9,73	3,73	6,00	1782,50
	168	1	9,71	4,09	5,63	1432,99
		2	10,05	4,86	5,19	1322,69
0,1 (pH = 1)	24	1	10,06	9,52	0,54	971,14
		2	9,91	9,38	0,53	937,61

Elektrolit (M)	Waktu ekspose (jam)	spesimen	Massa awal (gr)	Massa akhir (gr)	Massa hilang (gr)	Laju korosi (mpy)
	48	1	10,04	9,18	0,86	764,64
		2	10,20	9,35	0,85	727,82
	72	1	10,11	9,12	0,99	588,34
		2	9,96	9,03	0,92	549,29
	96	1	10,06	9,06	1,00	445,67
		2	9,91	8,90	1,01	450,62
	120	1	10,04	9,03	1,01	360,00
		2	10,20	9,19	1,01	345,47
	144	1	10,11	9,02	1,09	324,13
		2	9,96	8,93	1,03	305,55
	168	1	10,06	8,99	1,07	273,62
		2	9,91	8,81	1,10	280,98
0,5 (pH = 0,3)	24	1	10,23	9,79	0,44	785,86
		2	9,70	9,25	0,45	805,83
	48	1	9,53	8,55	0,99	878,50
		2	9,40	8,39	1,01	940,37
	72	1	10,11	8,42	1,69	1004,96
		2	9,97	8,27	1,70	1008,94
	96	1	10,23	7,95	2,28	1014,83
		2	9,70	7,41	2,29	1021,96
	120	1	9,53	6,65	2,88	1028,27
		2	9,40	6,49	2,91	1037,87
	144	1	10,11	6,68	3,43	1068,72
		2	9,97	6,56	3,40	1011,59
	168	1	10,23	6,46	3,76	958,48
1		2	9,70	5,91	3,80	966,88
	24	1	9,99	9,60	0,39	695,63



Elektrolit (M)	Waktu ekspose (jam)	spesimen	Massa awal (gr)	Massa akhir (gr)	Massa hilang (gr)	Laju korosi (mpy)
(pH = 0)		2	9,62	9,25	0,38	673,16
	48	1	10,16	9,16	1,00	852,15
		2	10,57	9,72	0,85	756,97
	72	1	9,90	8,17	1,73	1026,89
		2	10,00	8,29	1,71	1015,66
	96	1	9,99	7,61	2,38	1062,75
		2	9,62	7,25	2,37	1056,87
	120	1	10,16	6,79	3,37	1150,03
		2	10,57	7,66	2,92	1039,97
	144	1	9,90	5,99	3,90	1160,01
		2	10,00	6,37	3,63	1077,83
	168	1	9,99	5,37	4,62	1177,71
		2	9,62	5,20	4,42	1126,48

**LAMPIRAN H**  
**HASIL PENGUJIAN WEIGHT LOSS AISI 304**

Elektrolit (M)	Waktu ekspos (jam)	spesimen	Massa awal (gr)	Massa akhir (gr)	Massa hilang (gr)	Laju korosi (mpy)
HCl						
0,1 (pH = 1)	168	1	9,07	9,07	0,00	0,00
		2	9,14	9,14	0,00	0,00
	336	1	8,83	8,83	0,00	0,00
		2	8,16	8,16	0,00	0,00
	504	1	9,31	9,31	0,00	0,00
		2	9,07	9,07	0,00	0,00
	672	1	9,07	9,07	0,00	0,00
		2	9,14	9,14	0,00	0,00
0,5 (pH = 0,3)	168	1	8,99	8,76	0,23	57,25
		2	8,88	8,72	0,16	41,97
	336	1	9,62	9,35	0,26	31,54
		2	9,09	8,86	0,24	29,58
	504	1	9,13	8,89	0,24	21,03
		2	9,03	8,63	0,40	33,38
	672	1	8,99	8,61	0,38	23,86
		2	8,88	8,47	0,41	26,53
1 (pH = 0)	168	1	9,03	8,54	0,49	122,91
		2	9,22	8,70	0,51	128,79
	336	1	9,41	8,76	0,65	78,06
		2	9,48	8,78	0,70	84,08
	504	1	9,02	8,29	0,74	61,40
		2	9,12	8,16	0,97	80,66
	672	1	9,03	8,06	0,98	61,00
		2	9,22	8,19	1,03	64,20

Elektrolit (M)	Waktu ekspos (jam)	spesimen	Massa awal (gr)	Massa akhir (gr)	Massa hilang (gr)	Laju korosi (mpy)
H2SO4						
0,1 (pH = 1)	168	1	9,65	9,65	0,00	0,00
		2	8,87	8,87	0,00	0,00
	336	1	8,85	8,85	0,00	0,00
		2	8,56	8,56	0,00	0,00
	504	1	9,59	9,59	0,00	0,00
		2	8,51	8,51	0,00	0,00
	672	1	9,65	9,65	0,00	0,00
		2	8,87	8,87	0,00	0,00
0,5 (pH = 0,3)	168	1	8,91	8,91	0,00	0,00
		2	9,21	9,21	0,00	0,00
	336	1	8,78	8,78	0,00	0,00
		2	8,96	8,96	0,00	0,00
	504	1	9,25	9,25	0,00	0,00
		2	8,47	8,47	0,00	0,00
	672	1	8,91	8,91	0,00	0,11
		2	9,21	9,21	0,00	0,03
1 (pH = 0)	168	1	9,49	9,49	0,00	0,00
		2	9,41	9,41	0,00	0,00
	336	1	9,42	9,42	0,00	0,00
		2	9,23	9,23	0,00	0,00
	504	1	9,25	9,25	0,00	0,00
		2	9,25	9,25	0,00	0,00
	672	1	9,49	9,40	0,09	5,60
		2	9,41	9,38	0,03	1,86
HNO3						
0,1 (pH = 1)	168	1	8,73	8,73	0,00	0,05
		2	9,02	9,02	0,00	0,10

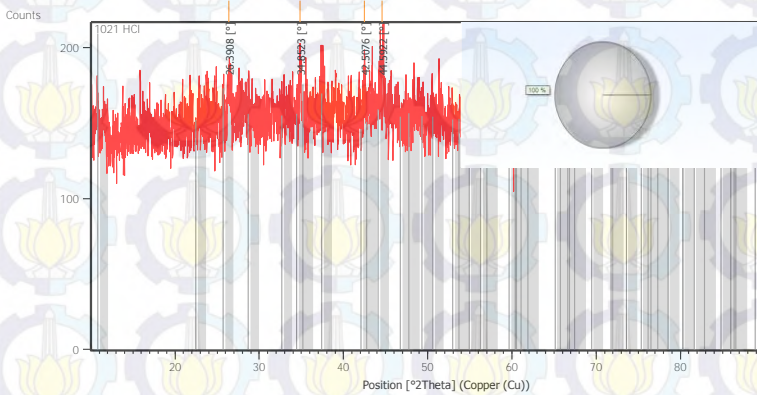


Elektrolit (M)	Waktu ekspos (jam)	spesimen	Massa awal (gr)	Massa akhir (gr)	Massa hilang (gr)	Laju korosi (mpy)
	336	1	8,75	8,75	0,00	0,03
		2	9,26	9,26	0,00	0,04
	504	1	8,63	8,63	0,00	0,02
		2	8,24	8,24	0,00	0,04
	672	1	8,52	8,52	0,00	0,01
		2	8,56	8,56	0,00	0,00
0,5 (pH = 0,3)	168	1	8,63	8,63	0,00	0,10
		2	8,90	8,90	0,00	0,10
	336	1	8,79	8,79	0,00	0,05
		2	8,40	8,40	0,00	0,03
	504	1	9,04	9,04	0,00	0,06
		2	8,53	8,53	0,00	0,00
	672	1	8,69	8,69	0,00	0,00
		2	8,80	8,80	0,00	0,03
1 (pH = 0)	168	1	8,34	8,34	0,00	0,16
		2	8,52	8,52	0,00	0,16
	336	1	8,96	8,96	0,00	0,03
		2	9,14	9,14	0,00	0,10
	504	1	8,31	8,31	0,00	0,03
		2	8,20	8,20	0,00	0,07
	672	1	8,90	8,90	0,00	0,05
		2	8,88	8,88	0,00	0,01
H3PO4						
0,1 (pH = 1,6)	168	1	8,51	8,51	0,00	0,08
		2	8,14	8,14	0,00	0,09
	336	1	8,40	8,40	0,00	0,01
		2	9,11	9,11	0,00	0,04
	504	1	8,38	8,38	0,00	0,03

Elektrolit (M)	Waktu ekspos (jam)	spesimen	Massa awal (gr)	Massa akhir (gr)	Massa hilang (gr)	Laju korosi (mpy)
		2	8,72	8,72	0,00	0,00
	672	1	9,00	9,00	0,00	0,00
		2	9,04	9,04	0,00	0,00
0,5 (pH = 1,2)	168	1	9,22	9,22	0,00	0,07
		2	8,60	8,60	0,00	0,16
	336	1	8,95	8,95	0,00	0,05
		2	8,39	8,39	0,00	0,04
	504	1	8,66	8,66	0,00	0,02
		2	8,09	8,09	0,00	0,03
	672	1	9,19	9,19	0,00	0,00
		2	9,09	9,09	0,00	0,03
1 (pH = 1)	168	1	8,37	8,37	0,00	0,42
		2	8,96	8,96	0,00	0,15
	336	1	9,08	9,08	0,00	0,44
		2	8,90	8,90	0,00	0,08
	504	1	8,62	8,62	0,00	0,12
		2	8,52	8,52	0,00	0,06
	672	1	8,69	8,69	0,00	0,02
		2	9,08	9,08	0,00	0,02

# LAMPIRAN I DATA PENGUJIAN XRD

## 1. Pengujian XRD dalam HCl



List Puncak :

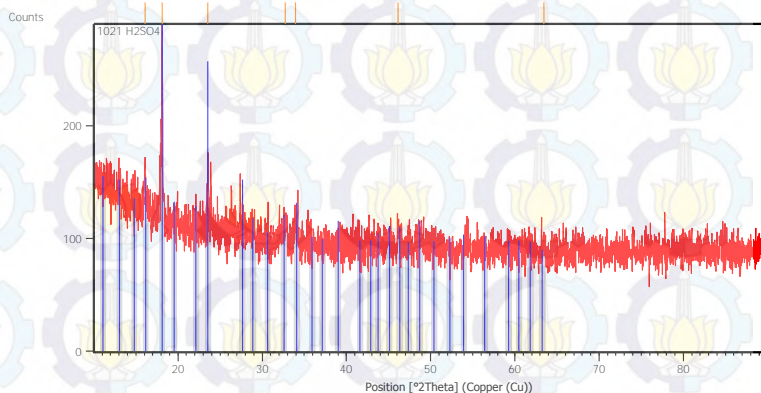
Pos. [ $^{\circ}$ 2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}$ 2Th.]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
26.3908	22.18	0.8029	3.37726	63.08
34.8523	30.89	0.2007	2.57428	87.88
42.5076	35.15	0.2007	2.12672	100.00
44.5922	33.29	0.4015	2.03202	94.69

List Pattern :

Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [ $^{\circ}$ 2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
01-076-2300	0	Iron Oxide Chloride	-0.764	0.317	Fe O Cl



## 2. Pengujian XRD dalam H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>



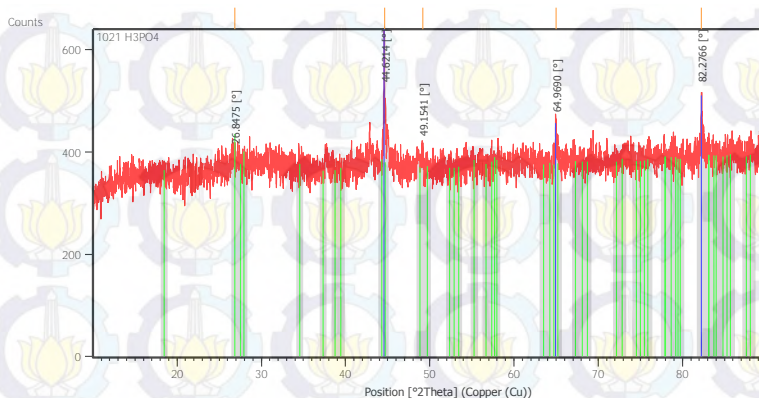
List Puncak :

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
16.1016	36.05	0.2007	5.50470	21.79
18.1248	165.44	0.0669	4.89453	100.00
23.5652	66.23	0.1004	3.77542	40.03
32.7299	16.52	0.4015	2.73620	9.99
33.9601	16.72	0.5353	2.63984	10.11
46.1284	16.61	0.2007	1.96787	10.04
63.4143	10.98	0.5353	1.46684	6.64

List Pattern :

Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
00-001-0255	71	Iron Sulfate Hydrate	0.041	0.766	FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O

### 3. Pengujian XRD dalam media H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>



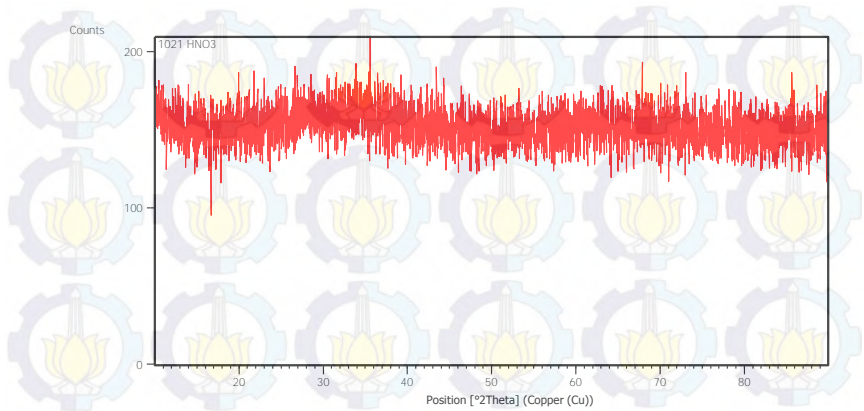
List Puncak :

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
26.8475	19.16	0.8029	3.32084	7.77
44.6214	246.54	0.0669	2.03076	100.00
49.1541	38.23	0.2007	1.85359	15.51
64.9690	76.01	0.2676	1.43545	30.83
82.2766	126.47	0.1171	1.17185	51.30

List Pattern :

Ref. Code	Score	Compound Name	Displacement [°2Th.]	Scale Factor	Chemical Formula
00-006-0696	79	Iron	-0.088	0.627	Fe
01-073-3765	12	Iron Phosphate Hydroxide	0.062	0.099	Fe <sub>1.375</sub> (PO <sub>4</sub> )(OH)

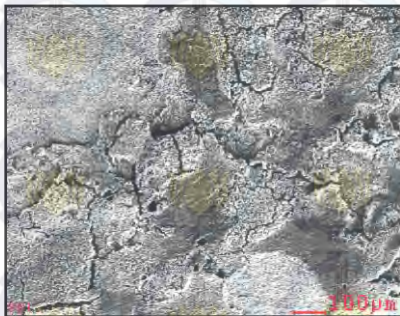
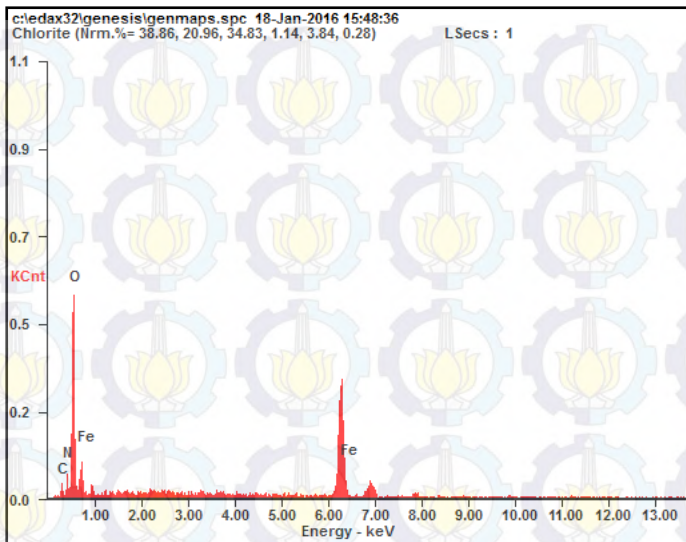
#### 4. Pengujian XRD dalam $\text{HNO}_3$



- Tidak ada Puncak yang didapatkan



## 5. Pengujian EDX Baja AISI 1021 dalam $\text{HNO}_3$



Element	Wt%	At%
CK	04.85	08.63
NK	08.72	13.32
OK	47.16	63.03
FeK	39.26	15.03

## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_, 1992. *ASM Metals Handbook Vol13 Corrosion*. 9th penyunt. USA: ASM International.
- \_\_\_\_\_, 2008. *Stainless Steel for Design Engineers*. USA: ASM International.
- \_\_\_\_\_, 2013. *Hydrochloric Acid Handbook*. Wichita: OxyChem
- \_\_\_\_\_, 2013. *Handbook of Stainless Steel*. Sweden : Outokumpu
- Al-Taher, dkk. 2014. *The Effect of Pitting Corrosion on the Fatigue Strength of 304 and 316 Stainless Steel Alloys*. Journal of Metallurgical Engineering Vol 3 (Januari)
- Ahmad, Zaki. 2006. *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*. USA: Elsevier
- ASTM Internasional. 2004. ASTM G31-72 : *Standard Practice for Laboratory Immersion Corrosion Testing of Metals*. United State
- ASTM Internasional. 2004. ASTM A240 : *Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Stripe for Pressure Vessels and for General Application*. United States
- ASTM International. 2004. ASTM A830 : *Standard Specification for Plates, Carbon Steel, Structural Quality, Furnished to Chemical Composition Requirements*. United States
- ASTM International. 1999. ASTM G102-89 : *Standard Practice for Calculation of Corrosion Rates and Related Information from Electrochemical Measurements*. United States
- Autolab Application Note EC08. 2011. *Basic Overview of the Working Principle of a Potentiostat/Galvanostat (PGSTAT)-Electrochemical Cell Setup*.
- Bardal, Einar. 2003. *Corrosion And Protection*. Springer (December)

- Chang, Raymond. 2004. *Kimia Dasar Konsep-konsep Inti Jilid 2*. Jakarta: Erlangga
- Chenier, Philip J. 1987. *Survey of Industrial Chemistry*, pp 45-57. New York: John Wiley & Sons
- Dumenico Surpi. 2011. *Stainless Steels*. Italy: Gruppo Lucefin
- El- Ald Haleem A, Yulen L. 1980. "Corrosion Behaviour of Metals in HNO<sub>3</sub> Solution" Chemical Science Index. 23: 906-910.
- Fong-Yuan, t.thn. *Corrosive Effects of Chlorides on Metals*, Taiwan: Intechopen.
- Fontana, Mars G. 1987. *Corrosion Engineering*. Singapore: McGraw-Hill International Edition
- Frangle P. Fehlner, M. J. G., 2002. Thin Oxide Film Formation on Metal. Dalam: P. Marcus, penyunt. *Corrosion Mechanisms in Theory and Practice*. New York: Marcel Dekker, Inc, p. 171.
- Harvey, David. 1956, *Modern Analytical Chemistry*. New York: McGraw-Hill International Edition
- Henning, H., 2002. *Mechanisms of Pitting Corrosion*. Germany: Marcel Dekker Inc.
- Herlani, Ratmi, dkk. 2008. *Pengaruh Laju Korosi Pada Baja Stainless Steel 304 Pipa Pendingin Reaktor di Dalam Lingkungan Air dan Asam Nitrat*. Pengelolaan perangkat nuklir. ISSN 1410 - 8178
- Iliyasu, I. D.S Yawas, S.Y Aku. 2012. *Corrosion behavior of Austenitic Stainless Steel in Sulphuric Acid at Various Concentrations*. Advances in Applied Science Research 3 (6): 3909-3915
- Jones, D. A., 1996. *Principles and Prevention of Corrosion*. 2nd penyunt. USA: Prentice Hall.
- Jung Fu, Jia, dkk. 2009. *L-Tryptophan as green corrosion inhibitor for low carbon steel in hydrochloric acid solution*. Springer Science Journal, 18 November 2009: pp 979-986



Khadom Anees A, dkk.2009.*The Effects of Temperature and Acid Concentration on Corrosion of Low Carbon Steel in Hydrochloric Acid Media*.American Journal of Applied Sciences Vol 6: 1403-1409

Kord Lghman, Nasr-Esfahani Mojtaba.2015. *Corrosion Behavior of Carbon Steel in HCl Solution by Fe and Cr Complexes with a SchiffBase Ligand Derived from Salicylaldehyde and 2(2Aminoethylamino)ethanol*. Surface Engineering and Electrochemistry Vol 51 No. 5, pp 491-500

L Caceres, L Herrera, T Vargas. 2007. “ *Corrosion Kinetics Studies of AISI 1020 Carbon Steel from Dissolved Oxygen Compsumption Measurement in Aqueous Sodium Chloride Solution*”, Proquest Science Journal, 63 (8): 722-731

Lide, David. 1981. *CRC Handbook of Chemistry and Physics (61st ed.)*. CRC Press.

Mendham, J.; Denney, R. C.; Barnes, J. D.; Thomas, M.J.K.; Denney, R. C.; Thomas, M. J. K. 2000. *Vogel's Quantitative Chemical Analysis 6th ed.*, New York: Prentice Hall, ISBN 0-582-22628-7

Michael F. McGuire. 2008. *Stainless Steels For Design Engineering*. United State of Amerika: ASM International

Noor, Ehteram A. Al Moubaraki, Aisha H. 2008. *Corrosion Behavior of Mild Steel in Hydrochloric Acid Solutions*. International Journal of Electrochemical Science 3 (May):806 – 818

Osarolube, dkk. 2008.”*Corrosion behaviour of mild and high carbon steel in various acidic media*”. Scientific Reasearch and Essay Vol.3(june):224-228

Perez, Nestor. 2004. *Electrochemistry and Corrosion Science*. Kluwer Academic Publisher.

- Perry, R; Green D, Maloney J .1984. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 6thed*. McGraw-Hill Book Company. ISBN 0-07-049479-7.
- Piron, Dominique, 1991. *The Electrochemistry of Corrosion*, Houston NACE
- Rizky, Ichwani. 2014. *Pengaruh Kekasaran Permukaan Terhadap Laju Korosi Baja API 5L Dalam Larutan Asam, Basa, dan Garam*. Malang
- Sidiq, fajar. 2013. "ANALISA KOROSI DAN PENGENDALIANNYA". Jurnal Foundry vol 3(April):2087-2259
- Susanto, dkk. 2012. "Perilaku lelah baja tahan karat AISI 304 dalam lingkungan korosif" Jurnal Teknik Mesin Vol 1(Agustus): 1
- Suherman, Wahid. 1999. *Ilmu Logam 2*. Surabaya : ITS Press
- Tomashof, Nikon D, and Chernova, Galina P, 1986. *Passivity and Protection of Metals Against Corrosion*, New York: Plenum Press.
- Trethewey and Chamberlain. 1991. *Korosi Untuk Mahasiswa dan Rekayasawan*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Ulfin, Ita. dkk. 2010. *Kimia Dasar Seri Buku Untuk Jurusan Sains dan Teknologi*. Surabaya: ITS Press

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama lengkap Nur Aini. Lahir di Bangkalan pada tanggal 17 Maret 1995. Penulis merupakan anak kedua dari 3 bersaudara dari pasangan Abdul Rakhman dan Masriyah. Penulis menyelesaikan jenjang pendidikannya di SDN Sukorame III Gresik, SMP Negeri 2 Gresik, dan di SMA Negeri 1 Gresik. Kemudian penulis melanjutkan studi S-1 di Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri (FTI)-ITS pada tahun 2012.

Selama masa perkuliahan penulis aktif berorganisasi di dalam kampus. Pada tahun 2013/2014 penulis menjadi staff Badan Semi Otonom Kewirausahaan HMMT FTI-ITS. Pada tahun 2014/2015 penulis menjadi bendahara umum BSO Kewirausahaan HMMT FTI-ITS.

Penulis pernah melakukan kerja praktik di PT Krakatau Posco, Cilegon-Banten. Dan selama menjadi mahasiswa, penulis mendapatkan beasiswa dari PT. Petrokimia Gresik dan beasiswa PPA pada semester 6 sampai semester 7. Di jurusan Teknik Material dan Metalurgi ini penulis mengambil Tugas Akhir dalam Bidang studi Korosi dan Analisa Kegagalan. Untuk nomor handphone dan Email yang dapat dihubungi yaitu 08983329889 dan [nuraini098@yahoo.com](mailto:nuraini098@yahoo.com)